

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет Энергетический

Кафедра Тепловые электрические станции

СОГЛАСОВАНО  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Н.Б. Карницкий

\_\_\_\_\_ 2016 г.

СОГЛАСОВАНО  
Декан

\_\_\_\_\_ К.В.Доброго

\_\_\_\_\_ 2016 г.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УЧЕБНОЙ  
ДИСЦИПЛИНЕ

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И САПР

для специальностей 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции»

1-43 01 08 Паротурбинные установки атомных  
электрических станций

1-53 01 04 «Автоматизация и управление

теплоэнергетическими процессами»

Составитель:

ст. преп. Буров А.Л.

Рассмотрено и утверждено

на заседании Совета энергетического факультета «24» марта 2016 г.,

протокол № 7

## Перечень материалов

### 1. Теоретический раздел:

- «Основы конструирования и САПР» - курс лекций;

### 2. Практический раздел:

- «Основы конструирования и САПР» - методическое пособие к курсовому проектированию, лабораторный практикум по дисциплине;

### 3. Контроль знаний:

- «Основы конструирования и САПР» - перечень вопросов, выносимых на зачет (экзамен);

### 4. Вспомогательный раздел:

- «Основы конструирования и САПР» - типовая учебная программа для учреждения высшего образования.

## Пояснительная записка

Целью создания ЭУМК является ознакомление с принципами конструирования элементов тепловых электростанций и теории автоматизации проектирования сложных технических систем.

Основной задачей преподавания дисциплины является подготовка специалистов для проектно-конструкторской деятельности на АЭС с использованием современных систем автоматизированного проектирования.

Повышение производительности труда проектировщиков различных отраслей народного хозяйства, в т.ч. ТЭС и АЭС возможно лишь путем широкого внедрения автоматизации проектирования.

Во время изучения дисциплины студенты знакомятся с опытом создания автоматизированного проектирования ведущих в этом плане отраслей народного хозяйства, с задачами по созданию САПР ТЭС, достижениями и задачами по созданию единой системы автоматизированного проектирования ТЭС. Студенты изучают состояние проектного дела в крупных проектных организациях Республики Беларусь.

Задачами ЭУМК являются: изучение законодательства, арбитража и нормативных документов, используемых при проектировании, изучение иерархии состава САПР и ее инвариантной структуры, изучение математического, методического и программного обеспечения систем проектирования, освоение технологии выполнения и оформления технической документации на проектируемый объект, изучение и применение в проектной деятельности и конструкторских расчетах

программных пакетов AutoCAD, ASTRA, STEEL, при проектировании трубопроводов уметь пользоваться сортаментом с учетом параметров транспортируемой среды.

*Особенности структурирования и подачи учебного материала:*

- теоретическая часть включает в себя курс лекций по дисциплине «Основы конструирования и САПР» и содержит 4 раздела по теории проектирования, проектированию энергетических объектов, роли и месту технических расчетов при выполнении проектов, а также по системам автоматизированного проектирования;

- практическая часть состоит из методического пособия к курсовому проектированию и лабораторного практикума;

- раздел контроля знаний содержит вопросы к зачету (экзамену);

- вспомогательный раздел содержит типовую учебную программу по дисциплине «Основы конструирования и САПР».

*Рекомендации по организации работы с УМК (ЭУМК):* Материалы данного электронного учебно-методического комплекса можно использовать при выполнении курсовых и дипломных проектов (работ), посвященных проектированию и конструированию ТЭС и АЭС, конструированию и расчету трубопроводных систем, работы с системами автоматизированного проектирования.

Полученные знания при изучении данного электронного учебно-методического комплекса предназначены для формирования научного мышления и профессиональной ответственности инженеров энергетического профиля, которые должны явиться основой приобретения умения проектирования трубопроводных систем тепловых и атомных электрических станций, в том числе с использованием программы расчета ASTRA, отображения на чертежах трубопроводов, а также запорно-регулирующей арматуры, применения систем автоматизированного проектирования в энергетике.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ</b>	<b>6</b>
<i>Понятие теории проектирования</i>	7
Процесс проектирования и его совершенствование.	
Традиционные методы проектирования.	
Необходимость применения новых методов проектирования	7
Обзор новых методов проектирования	36
Критерии управления проектными работами	57
Выбор стратегий и методов	59
<i>Проектирование энергетических объектов</i>	<b>88</b>
Порядок проектирования энергетических объектов	88
Содержание и состав проекта теплоэнергетических объектов (ТЭС, котельная)	93
Оформление проектной документации	221
<i>Роль и место технических расчетов при выполнении проектов</i>	<b>249</b>
Конструкторские проработки по энергетического оборудованию ТЭС	249
Трубопроводные системы энергетических объектов	256
<i>Системы автоматизированного проектирования</i>	<b>424</b>
Автоматизированные системы (АС)	424
Обеспечения САПР	440
<b>2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ</b>	<b>473</b>



Методическое пособие к курсовому проектированию по дисциплине «Основы конструирования и САПР»	474
Лабораторный практикум по дисциплине «Основы конструирования и САПР»	505
Лабораторная работа №1	506
Лабораторная работа №2	516
Лабораторная работа №3	526
Лабораторная работа №4	538
Лабораторная работа №5	548
Лабораторная работа №6	559
Лабораторная работа №7	571
Лабораторная работа №8	582
Лабораторная работа №9	592
Лабораторная работа №10	601
Лабораторная работа №11	618
<b>3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ</b>	<b>633</b>
Перечень контрольных вопросов по дисциплине «Основы конструирования и САПР»	634
<b>4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ</b>	<b>638</b>
Типовая учебная программа по дисциплине «Основы конструирования и САПР»	639

# **1. Теоретический раздел**

# Курс лекций по дисциплине «Основы конструирования и САПР»

## *Понятие теории проектирования*

**Процесс проектирования и его совершенствование. Традиционные методы проектирования. Необходимость применения новых методов проектирования**

### **Что такое проектирование?**

В большинстве промышленно развитых стран литература о методах проектирования начинает появляться в 50-60 годах XIX в. До этого времени было достаточно знать, что проектирования — это то, чем занимаются архитекторы, инженеры, художники-прикладники и т.д., когда создают чертежи для своих клиентов и для целей производства. Теперь положение изменилось. Имеется множество профессиональных проектировщиков, подвергающих сомнению методы, которым их обучили, и появилось множество новых приемов, призванных сменить традиционные процедуры.

Критике традиционных и пропаганде новых методов свойственна одна общая черта: и в том и в другом случае обнаруживается стремление выявить сущность проектирования и изложить ее в виде некоего стандартного метода, дать своего рода рецепт, на который можно было бы положиться во всех ситуациях. Вот некоторые определения и формулировки процесса проектирования, появившиеся за последнее время - "отыскание существенных компонентов какой-либо физической структуры"; "целенаправленная деятельность по решению задач"; "принятие решений в условиях неопределенности с тяжелыми последствиями в случае ошибки"; "моделирование предполагаемых действий до их осуществления, повторяемое до тех пор, пока не появится полная уверенность в конечном результате"; "определяющий фактор для тех частей изделия, которые вступают в контакт с людьми"; "техническое конструирование - это использование научных принципов, технической информации и воображения для определения механической структуры машины или системы, предназначенной для выполнения заранее заданных функции с наибольшей экономичностью и эффективностью"; "приведение изделия в соответствие с обстановкой при максимальном учете всех требований"; "осуществление очень сложного акта интуиции"; "оптимальное удовлетворение суммы истинных потребностей при определенном комплексе условий"; "вдохновенный прыжок от фактов настоящего к возможностям будущего"; "творческая деятельность, которая вызывает к жизни нечто новое и полезное, чего ранее не существовало". В этих цитатах прежде всего удивляет то, что они столь различны: едва ли десятая часть всех значащих слов встречается здесь больше одного раза. Создается впечатление, что имеется столько же различных процессов проектирования, сколько существует авторов, которые описывают эти процессы. Удивительно и то, что ни разу

не упоминается изготовление чертежей, хотя эта операция неизбежно выполняется проектировщиками всех специальностей. Из этих цитат ясно, что в зависимости от обстоятельств характер процесса проектирования может меняться в очень широких пределах, и, как мы увидим ниже, методы, разработанные теоретиками проектирования, отличаются друг от друга не меньше, чем предложенные ими определения процесса проектирования. Явный разнобой, наблюдающийся в литературе о проектировании, может послужить нам ключом к пониманию ситуации. Возможно, что, сознательно уклонившись от ссылки на чертежи и от привычных взглядов на процесс проектирования, теоретики все вместе нащупали то существенное, что позволит преодолеть недостатки традиционных методов проектирования; это существенное как раз и состоит в разнообразии, причем в разнообразии столь широком, что оно выходит за пределы опыта и знаний любого отдельно взятого разработчика, любой конкретной проектной специальности и, по сути дела» любого отдельно взятого теоретика проектирования.

И все же всем приведенным выше определениям свойственна одна общая черта: они говорят не о результатах проектирования, а о его составных частях, которые» как мы уже видели, не менее, если не более, разнообразны, чем составные части рецептов в поваренной книге.

Чтобы найти более надежную основу для рассуждений, попытаемся дать определение проектирования, исходя не из течения самого процесса, а из его результатов. Для этого достаточно рассмотреть конец той цепочки событий, которая начинается с пожеланий заказчика, включает в себя проектирование, производство, сбыт, потребление и заканчивается влиянием вновь спроектированного объекта на мир в целом. Единственное, что можно утверждать с уверенностью, — это то, что общество (мир) стало после этого иным, чем оно было до появления данного объекта. Если проект был удачным, он вызвал именно такие изменения, на которые рассчитывал заказчик. Если проект оказался неудачным (что, вообще говоря, случается чаще), его конечное влияние может быть весьма далеким от расчетов заказчика и прогнозов проектировщика, и все же он и в этом случае вызовет изменение того или иного характера. В любом случае мы можем, следовательно, заключить, что цель проектирования — положить начало изменениям в окружающей человека искусственной среде. Эту простую, но универсальную формулировку можно принять хотя бы в качестве рабочего определения того расширяющегося процесса, который когда-то протекал за чертежной доской, а сегодня включает в себя "научные исследования и опытно-конструкторские разработки", снабжение, разработку технологии, подготовку производства, сбыт, системное проектирование и многое другое. Уже при беглом взгляде на это всеобъемлющее определение видно, что оно охватывает деятельность не только конструкторов, архитекторов и других "профессиональных" проектировщиков, но также плановиков и экономистов, законодателей, администраторов, публицистов, ученых — специалистов прикладных наук, участников движений протеста, политиков, членов "групп давления" — всех тех, кто стремится осуществить изменения в форме и содержании изделий, рынков сбыта, городов, систем бытового обслуживания, общественного мне-

ния, законов и т.п. Что же случилось с проектировщиками, затерявшимися в этой пестрой толпе? Уж не поддались ли они распространенному ныне стремлению к "Научности", к специализации и кооперации и в результате не утратили ли свои специфические черты, которыми они отличались от тех, кто выполняет "нетворческую" работу? Конечно, да. Да, потому что проектирование переросло рамки таинственного умения чертить и зримо представлять себе ситуации будущего. Да, потому что не-проектировщики вынуждены теперь строить свою деятельность на промышленной основе, с широчайшим использованием систем человек — машина.

## **1.1. Задачи проектировщика**

### **1.1. Задачи проектировщика**

Как мы уже видели, цель проектировщика традиционного типа заключалась в том, чтобы разработать чертежи, которые могли бы получить одобрение клиента и дать необходимые указания изготовителю. Из нашего определения проектирования как процесса, который кладет начало изменениям в искусственной среде, следует, что должны существовать какие-то другие цели, достижимые до окончания — и даже до начала — разработки чертежей. Если объект разрабатывается для того, чтобы вызвать определенные изменения в мире, то проектировщик должен предвидеть конечный результат осуществления своего проекта и определить меры, необходимые для достижения этого результата. Проектирование оказывается все меньше направленным на сам разрабатываемый объект и все больше — на те изменения, которые должны претерпеть производство, сбыт, потребитель и общество в целом в ходе освоения и использования нового объекта. Такой взгляд на проектирование как на длинную цепь взаимосвязанных предположений и уточнений иллюстрируется рис. 1.1. Процесс внесения изменений в искусственную среду представляется как ряд событий, который начинается с поступления материалов и комплектующих изделий на завод-изготовитель и заканчивается эволюционными изменениями в обществе под воздействием системы, в которую входит новое изделие. Каждое из этих событий представляет собой особый этап в существовании изделия и зависит от предшествующего события. Ни заказчики, ни проектировщики не могут непосредственно влиять на всю последующую историю изделия, оно выходит из-под их контроля еще до поступления в производство. Заказчик дает проектировщику ориентировочные указания о том, какого будущего состояния внешнего мира он хотел бы добиться. Для владельца автомобилестроительной фирмы это может быть определенная доля участия в рынках сбыта, например заранее установленная сумма продаж (блок в середине верхнего ряда на рис. 1.1.) Если заказчику необходимо новое здание, в его заказе будут указаны расположение и размеры помещений, необходимых для размещаемой системы, т.е. будут определены системные требования (блок справа вверху на рис. 1.1). Если требуется создать пассажирский самолет, в исходное задание могут входить некоторые предварительные указания относительно всех этапов; например, заказ-

чик может предъявить свои особые требования, касающиеся: выбора материалов, использования стандартных узлов, распределения и складирования запасных частей, количества выпускаемых самолетов, их летно-технических характеристик, их соответствия требованиям существующих авиакомпаний и совместимости с аэродромным оборудованием и, наконец, влияния, которое новый самолет окажет на общество, скажем, ввиду удлинения взлетно-посадочных полос, производимого самолетом шума и т.д. Кроме того, он может заранее потребовать, чтобы в процессе проектирования были накоплены знания и опыт, которые потребуются для разработки следующей модели самолета того же семейства.

Нижняя половина рис. 1.1 показывает, что в соответствии с полученными заданиями проектировщик должен подготовить свои предложения. От него требуется тем или иным способом предсказать свойства объекта и реакцию на них на каждом этапе его существования. Для этого он на каких-то моделях проводит экстраполяцию от известных характеристик аналогичных конструкций в прошлом к поведению объекта в будущем, в новой среде. При этом в отношении каждого этапа существования объекта у проектировщика возникают вопросы, указанные в табл. 1.1.

сказанного можно сделать вывод, что не все заказчики материально заинтересованы в успешном функционировании изделия на каждом этапе его существования. В настоящее время (будем надеяться, что в будущем положение изменится) заказчик чаще всего ничего не выигрывает и не проигрывает от того, что у изделия выявится какое-нибудь дополнительное достоинство или недостаток, скажем, уже после момента его продажи. Проектировщик же в этих условиях может отчетливо сознавать, что какие-то варианты исполнения проектируемого объекта будут обладать теми или иными достоинствами или недостатками для потребителя, хотя для заказчика они и безразличны. При этом у проектировщика появляется искушение предлагать своему заказчику лишь такие решения, которые благоприятны для потребителя. Поступая таким образом, проектировщик выходит за рамки своей компетенции и принимает решение от имени всего общества. Столкнувшись с этой дилеммой (а это случается нередко), нельзя поддаваться соблазну протащить свои принципы тайком: лучше постараться побудить своего заказчика самостоятельно принять правильное решение. В случае неудачи проектировщик, выполняя волю заказчика, вправе, однако, довести до сведения тех, кто попадет в сферу влияния проектируемого объекта, свои прогнозы, которые он как профессионал в состоянии сделать и на которые заказчик решил не реагировать. Проектировщику с "практическим" складом ума, может быть, вообще не придет в голову предпринимать что-либо выходящее за рамки интересов его заказчика — он просто предоставит событиям идти своим чередом при всех недостатках принятого проекта.

моральная дилемма в наши дни возникает очень часто, так как побочные эффекты от принимаемых проектировщиком решений растут быстрее, чем изменяются взгляды заказчиков. Типичным примером могут служить разработка сверхзвукового самолета, шум которого воздействует на большие массы населения, или генеральный план крупного города, резко изменяющий условия

жизни миллионов людей. Окончательное решение этой дилеммы заключается не в том, чтобы проектировщики стали провидцами, а в том чтобы придать процессу проектирования общественный характер, чтобы каждый, кого затрагивают результаты проектирования, мог заранее продумать, что можно сделать, и мог бы повлиять на выбор вариантов. Для этого социально-значимые результаты проектирования должны стать предметом политических дискуссии, а некоторые принципы и методы, рассматриваемые в этой книге, должны войти в общеобразовательные курсы.

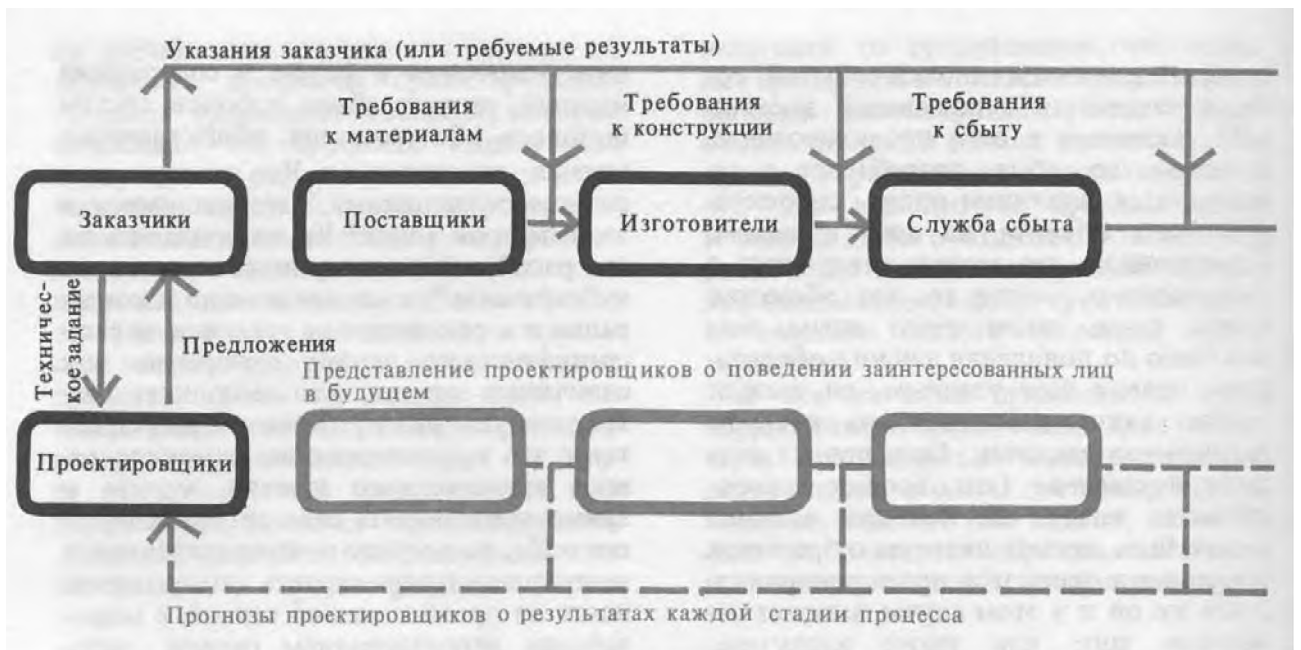


Рис. 1.1.



**Таблица 1.1** Вопросы, на которые должна ответить проектная группа

<b>ВОПРОСЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ПРОЕКТИРУЕМОГО ОБЪЕКТА</b>	<b>КТО ДАЕТ НА НИХ ОТВЕТ</b>
<p>Понравится ли проект заказчику?                      В интересах ли заказчика вложить капитал в этот проект?                      Будет ли проект принят к осуществлению?</p>	<p>Заказчик и финансирующие организации</p>
<p>Оптимальным ли образом в проекте используются доступные материалы и комплектующие изделия?</p>	<p>Поставщики</p>
<p>Можно ли достаточно экономично реализовать проект в рамках имеющихся ресурсов?</p>	<p>Изготовители</p>
<p>Можно ли распространить изделие по существующим каналам?</p>	<p>Работники сбыта</p>
<p>Каковы требования к внешнему виду, эксплуатационным характеристикам, надежности и пр.?</p>	<p>Потребители и торгующие организации</p>
<p>В какой мере объект будет согласован с другими изделиями или конкурировать с ними?</p>	<p>Другие заказчики</p>
<p>В какой мере он изменит существующую ситуацию, создаст ли новые потребности, новые возможности и новые трудности?</p>	<p>Операторы больших систем</p>
<p>В какой мере его прямые и побочные эффекты приемлемы для всех, кого они касаются?</p>	<p>Государственные учреждения и общественные группы</p>

## **1.2. В чем трудности проектирования?**

Причины трудностей, возникающих при осуществлении и описании процесса проектирования, становятся ясными, если внимательно рассмотреть рис. 1.1. Главная трудность заключается в том, что проектировщик должен на основании современных данных прогнозировать некоторое будущее состояние, которое возникнет только в том случае, если его прогнозы верны. Предположения о конечном результате проектирования приходится делать еще до того, как исследованы средства для его достижения. Проектировщик вынужден проследивать события в обратном порядке, от следствий к причинам, от ожидаемого влияния данной разработки на мир — к началу той цепочки событий, в результате которой и возникнет это влияние. Часто случается, что в ходе такого прослеживания на одной из промежуточных ступеней обнаруживаются непредвиденные трудности или открываются новые, более благоприятные возможности. При этом характер исходной проблемы может коренным образом измениться, и разработчик будет отброшен на исходную клетку игрового поля. Это как если бы посреди партии в шахматы вдруг появилась возможность или необходимость перейти к игре в домино. Именно эта нестабильность самой задачи и придает процессу проектирования гораздо более сложный и интересный характер, чем обычно думают те, кто никогда им не занимался.

Бригада проектировщиков должна добиться, чтобы каждый из многочисленных и разнообразных показателей, интересующих заказчика ("требуемые результаты", рис. 1.1), обладал двумя свойствами:

- а) не выходил за пределы возможностей поставщиков, изготовителей, системы сбыта и т.д. ни на одном из этапов существования изделия;
- б) был увязан с тем, что ему предшествует, и с тем, что за ним следует.

Тесные связи между далеко отстоящими друг от друга этапами существования изделия заставляют разработчика широко прибегать к прослеживанию зависимостей между следствиями и их отдаленными причинами. Чтобы избежать неувязок между отдельными этапами, проектировщик, используя свой главный козырь — воображение, — заменяет свои исходные цели другими целями, которые легче увязываются друг с другом, оставаясь столь же приемлемыми с точки зрения поставленной задачи. Такая сильная зависимость целей проектирования от конкретных частных решений очень затрудняет, если не вовсе делает невозможным, решение задач проектирования чисто логическими способами; однако она не препятствует человеческому мозгу с его колоссальной адаптивностью справиться с такими проблемами. Цель этой книги — исследовать первые опыты, в которых к пониманию и преодолению трудностей проектирования удастся привлечь не один человеческий ум, а несколько умов.

## **1.3. Что такое проектирование: искусство или наука?**

Скажем сразу, что проектирование не следует путать ни с искусством, ни с естественными науками, ни с математикой. Это сложный вид деятельности, в котором успех зависит от правильного сочетания всех этих трех средств позна-

ния; очень мала вероятность добиться успеха путем отождествления проектирования с одним из них. Основное различие связано с временными отношениями. Деятели искусства и науки имеют дело с физическим миром (реальным или символическим) в том виде, в каком он существует в настоящее время, а математики оперируют с абстрактными отношениями, не зависящими от календарного времени. Проектировщики же всегда вынуждены считать реальным то, что существует лишь в воображаемом будущем, и искать пути претворения в жизнь предвидимых объектов.

Интересно сопоставить подходы, методы и критерии, используемые в естественных науках, в искусстве и в математике. Цель ученого - точно описать и объяснить наблюдаемые явления. Для его подхода характерны профессиональный скептицизм и сомнения. Его главная методика — тщательно поставленный эксперимент, призванный опровергнуть гипотезу, доказав истинность обратного утверждения. Художник — скажем, живописец или скульптор — тоже не связан в своей деятельности с будущим, его больше всего интересует настоящее. Его цель состоит в обработке (с испытываемым при этом удовлетворением) материала, существующего одновременно с его деятельностью. Конечно, есть художники, которые пользуются эскизами, моделями, наборами мелодий и т.д., планируя тем самым свою работу, но при этом они прибегают к методу сознательного предвидения, типичному для проектировщика, отходя от свойственной художнику импульсивности и непосредственности. Художник культивирует в себе уверенность, готовность действовать при полном или почти полном отсутствии внешних свидетельств, на которые могло бы опереться его воображение. Он действует в "реальном времени", в полной мере используя высокоразвитую способность своей нервной системы остро реагировать на интуитивно схваченную картину реального мира.

Математика рассматривает не физический мир, а мир отношений, точный и вневременной. Любая задача, существование которой постулировано и которую можно представить в символической форме, принимается как таковая, не требуя научных сомнений и пояснений. Для постановки задачи не приходится обрабатывать какой бы то ни было физический материал. Для математика задача существует с того момента, как он ее поставил, и нужно лишь логическим путем найти ее решение. Это решение, которое может быть выражено в абстрактных символах, обязано быть абсолютно верным, но может, помимо того, быть еще и "изящным".

После краткого рассмотрения этих трех областей деятельности укажем, в чем их сходство и различие с проектированием, которое иногда с ними путают.

Прежде чем предсказывать будущее, разработчик должен в достаточной мере знать настоящее, а для этого он должен обладать свойствами ученого: скептицизмом, умением поставить эксперимент и проанализировать его результаты. Однако, когда разработчик переходит от настоящего к будущему, позиция сомневающегося ученого становится для него бесполезной и ей на смену должно прийти нечто другое, похожее скорее на подсознательную веру.

Подход художника необходим разработчику на том этапе, когда в лабиринте альтернатив приходится отыскивать тропинку, ведущую к новому и не-

противоречивому построению, которое могло бы лечь в основу решения. При этом нужно иметь какой-нибудь податливый материал или аналог, который позволял бы, поспевая за течением мысли, передавать форму решения. Обычно таким материалом служили эскизы, быстро набрасываемые "на обороте конверта", за которыми стояли точные образы вариантов проекта в воображении. В будущем для быстрой проверки различных вариантов геометрии, видимо, будут применяться электронные вычислительные машины с индикацией на экране, активно взаимодействующие с разработчиком.

Метод математика, выражающего исходные предположения через абстрактные символы, а затем манипулирующего этими символами, пока не придет к решению, годится для проектировщика лишь на том этапе, когда задача стабилизировалась, когда для того, чтобы разрешить противоречия между целью и средствами, уже не требуется изменять исходные посылки. Однако самая интересная и самая сложная часть разработки — это как раз поиск решения путем изменения формулировки задачи, поэтому правильно будет считать, что математика полезна только для оптимизации, т.е. для отыскания наилучшего решения после того, как задача уже определилась. Если задачу проектирования можно сформулировать в математических символах, ее решение может быть получено на ЭВМ, без непосредственного участия человека в расчетах.

Определив проектирование как "процесс, который кладет начало изменениям в искусственной среде", мы стали теперь включать в него не только изготовление рабочих чертежей, но и планирование всех этапов существования будущего изделия. Такое более широкое понимание далеко не совпадает с общепринятым представлением о проектировании как о занятии несколько чудаковатых людей, послушно переводящих практические потребности на язык чертежей и создающих изделия, которые отвечают вкусам потребителя и соответствуют его материальным возможностям. Не исключая и таких представлений, наше определение в то же время позволяет нам понять, что предшественником современного проектировщика является отнюдь не чертежник. Первым инициатором изменений в искусственной среде был не создатель чертежей, а создатель вещей, искусный ремесленник, тот "конструктор", деятельность которого начинается там, где кончается естественная эволюция. Поэтому было бы правильно и полезно сравнить новые методы проектирования не только с недавней традицией создания проектов за чертежной доской, но и с особенностями гораздо более древней эволюции кустарных промыслов.

### **2.1. Эволюция кустарных промыслов**

В кустарных промыслах иногда создаются красивые и сложные изделия, которые можно принять за плод деятельности художника-конструктора высшей квалификации.

Интересно также, что кустарные изделия напоминают формы органической жизни — формы растений и животных, явившиеся результатом эволюции природы. Когда мы сегодня видим, как красиво организованы сложные формы деревенской телеги, гребного судна, скрипки, топора, нам непонятно, каким образом удалось этого добиться без участия конструкторов со специальным образованием, без специалистов по административному управлению, сбыту, тех-

нологии и многих других профессионалов, без которых немыслима современная промышленность.

Не менее удивительно и то, что неграмотный кустарь, вооруженный элементарными инструментами, управляет процессом эволюции и создает сложную форму изделий, не имея в своем распоряжении чего-либо подобного "генетической информации". Однако, как мы сейчас увидим, за кажущейся простой примитивного ремесленного производства кроется тонкая и надежная система передачи информации, быть может, более эффективная, чем в чертежном способе проектирования, и во многом сходная с новыми методами проектирования, рассматриваемыми в этой книге.

Среди старых кустарей и ремесленников редко встречались такие, которые, помимо обладания профессиональным мастерством, были еще и грамотны (мы не говорим здесь о представителях художественных промыслов), поэтому огромную ценность представляет свидетельство одного из них — книга Джорджа Стэрта "Колесная мастерская". В этой книге дан очерк тележного производства XIX в. Достаточно нескольких цитат, чтобы понять те скрытые причины и процессы, которые управляют действиями кустика. Начнем с описания точной подгонки форм к условиям эксплуатации; "... мы удивительно точно знали особые нужды наших соседей. Изготавливая телегу или тачку, водовозку или плуг, или что-нибудь еще, мы выбирали такие размеры, такие формы кривых (а почти каждая деревянная деталь была изогнутой), чтобы они соответствовали особенностям почвы на той или иной ферме, крутизне того или иного холма, темпераменту того или иного клиента и даже его пристрастиям при выборе лошадей".

Далее Стэрт рассуждает о том, зачем колесам телеги придается развал: "Какой смысл в развале и чашеобразности колес? К стыду своему, я должен признаться, что этот вопрос мучил меня много лет даже после того, как я убедился в многочисленных преимуществах этой странной формы и в том, что колеса без развала могут не пройти и мили. Ясно, что развал нужен, но зачем? Почему колесо без него всегда выворачивается наружу, как зонтик на ветру? Почему под грузом, если он и в самом деле слишком тяжел, колесо никогда не ломается каким-нибудь другим образом, а всегда одним и тем же?"

Несомненно, чашеобразные колеса с развалом имеют большие достоинства. Возьмем форму экипажа (в разрезе), когда он установлен на колесах с развалом. Кузов такого экипажа в верхней части может быть шире, чем в нижней. Расширяясь, он в то же время не будет касаться колес, поэтому можно увеличить — и очень сильно — размеры поклажи, особенно легкой, например сена, а если поклажей служит плотно укладываемый материал, например навоз или песок, то его легче сбрасывать. При другой посадке колес всего этого не добиться. Несомненно, это удобно, когда колеса сверху расставлены шире, чем снизу, где они опираются на землю.

У чашеобразных колес есть и другие преимущества. И все же, почему за них так держатся?"

На этот последний вопрос Стэрт здесь не отвечает, но в другом месте своей книги он пишет, что радиус поворота четырехколесного экипажа можно

сильно уменьшить, если сочетать развал колес с сужением телеги в середине и небольшим подъемом ее передка.

Он продолжает выяснять, как он говорит, "истинные причины", по которым нужен развал, и одно время ему кажется, что разгадка кроется в сжатии металлического обода, насаживаемого на колесо в горячем состоянии:

"Колесо все равно должно деформироваться при насадке обода, так что вполне вероятно, что оно при этом может стать более выпуклым или более вогнутым. Я долго считал, что придание колесу чашеобразной формы было всего лишь подготовкой к этой последней операции, способом регулирования сжатия и сознательного использования его преимущества".

Но вряд ли чашеобразность колеса появилась по этим причинам — ведь стальные шины были изобретены сравнительно недавно.

Лишь много позже он наткнулся на правильный ответ, когда заметил, что колеса оставляют на дороге волнистый след, раскачиваясь из стороны в сторону при каждом шаге лошади.

"Нагруженный кузов телеги или повозки, раскачиваясь в такт с шагом лошади, наносит колесам резкие удары то с одной, то с другой стороны. Он движется из одной стороны в другую и бьет по ступицам колес. Восприняв толчок, левое колесо тотчас же передает нагрузку правому, и наоборот. И так изо дня в день, в любой упряжке. На колеса действует не только вертикально направленный вес груза; им приходится также все время воспринимать усилия, приложенные к центру".

Вряд ли Стэрт отыскал все причины чашеобразности колес, а также множества прочих изгибов, дуг и скруглений, из которых состоит повозка. Для наших целей достаточно отметить, что форма каждой детали в повозке определяется не одной, а многими причинами и что изделие в целом возникает в результате тонкой отладки целого с оптимальным использованием каждой его части. Заметим также, что, когда кустарь воспроизводит или изменяет какую-либо форму, он едва ли точно отдает себе отчет, почему поступает именно так, а не иначе; он знает лишь, как ему следует это сделать. Говоря о том, почему колеса имеют всегда одни и те же размеры, Стэрт замечает: "По сути дела, сама необходимость определила линии повозки, которая не должна быть ни слишком высокой, ни слишком низкой; не одно поколение фермеров экспериментировало, чтобы отыскать эти невидимые линии, а колесники научились заставлять каждую телегу катиться в соответствии с ними.

Здесь как в капле воды отразились все те условия, благодаря которым телега стала красивой — такой же красивой, как скрипка или лодка. Необходимость определила законы построения каждой детали и десятками способов заставила добиться согласованности. Тележник был вынужден во всем сохранять верность этим законам, всегда знать, каким требованиям должны удовлетворять колеса, оглобли, оси, кузов телеги, все ее детали. Нужно отметить особый характер этих знаний. Их не найти ни в одной книге. Они не "научны". Я не встречал никого, кто мог бы похвастать, что знает тележное производство не только эмпирически. Я сам - типичный тому пример. Я знал, что задние колеса должны быть высотой пять футов и два дюйма, а передние - четыре фута и два

дьюма, что "боковины" нужно резать из четырехдюймовой сердцевины лучшего дуба и т.д. Это я знал, и чем дальше, тем более был в этом уверен; но объяснить необходимость таких требований мне удавалось далеко не всегда. То же и большинство ремесленников. Весь свод их знаний представлял собой лишь путаную сеть деревенских предрассудков, некоторые основания которых были известны в одной местности, а другие - в другой и т.п. В крестьянском дворе, в пивной, на рынке все снова и снова заводился разговор о тех или иных деталях; приобретенные знания сводились воедино в деревенской кузнице или мастерской ремесленника. Возчики, кузнецы, фермеры, колесники — тысячи ремесленников из века в век передавали своим детям или подмастерьям те крупницы понимания, что им удалось собрать. Но по большей части понимание деталей было весьма туманным, а весь свод знаний был чем-то таинственным, частью народной мудрости, он принадлежал коллективно всем людям, но ни одна отдельная личность никогда не владела им целиком".

Чтобы до конца понять, каким образом этот сплав практических навыков и невежества может породить изделия, которым ученый с трудом сможет дать объяснение и в которых глаз художника уловит высокий уровень организации формы, - для этого, наверное, нужно прочесть книгу Стэрта целиком, а может быть, и самому поработать подручным ремесленника. Для наших же целей будет достаточно, если мы из приведенных цитат и иллюстрации сделаем следующие предварительные выводы о путях эволюции кустарных промыслов:

1. Ремесленник не вычерчивает эскиз

своего изделия - а часто и просто не в состоянии сделать это — и не может удовлетворительно объяснить, почему он принимает то или иное решение.

2. Изменение формы кустарного изделия происходит в результате бесчисленных неудач и успехов в процессе многовекового поиска методом проб и ошибок. Этот медленный и дорогостоящий последовательный поиск "невидимых линий" удачной конструкции может в конечном итоге привести к удивительно точно уравновешенному изделию, которое в очень высокой степени удовлетворяет нуждам потребителя.

3. Эволюция кустарных промыслов может привести и к дисгармонии в решениях. Примером может служить изгиб бортов телеги на рис.2.1. Этот изгиб, или "излом", появился в результате стремления тележника сократить радиус поворота и дать передней оси хоть немного больше места для отклонения до того, как переднее колесо коснется борта телеги. Дисгармоничность этого изгиба наводит на мысль о том, что эволюционный процесс развития данного промысла еще не сумел освоиться с неожиданным изменением, которое произошло в Англии в конце XVIII в., когда традиционные двухколесные тележки сменились новыми формами в виде телеги с четырьмя колесами. В этом сказывается несовершенство процесса, при котором изменению каждый раз подвергается лишь что-то одно, а в целом опираются на ранее найденные решения даже в тех ситуациях, когда требуется полная реорганизация всей формы в целом.

4. Хранилищем всей важной информации, собранной в ходе эволюции про мысла, является в первую очередь сама форма изделия, которая остается постоянной и изменяется только для исправления ошибок и при возникнове-

нии новых потребностей. Частично информация хранится в виде эталонов (профилей сечения и т.п.), а также в виде усваиваемых при обучении ремеслу фиксированных навыков, необходимых для воспроизведения традиционной формы изделия. Можно сказать, что в этих хранилищах содержится "генетический код", необходимый для эволюции промысла.

5. Два класса данных, наиболее важные для современного проектирования, — форма изделия в целом и ее логические обоснования — не фиксируются в символической форме, поэтому их невозможно исследовать и изменить без грубого экспериментирования с самим изделием. Такие эксперименты чреваты опасностью утратить равновесие и "пригнанность", с таким трудом достигнутые в соответствующей конструкции, поэтому к ним прибегают лишь тогда, когда методами постепенной эволюции не удастся удовлетворить новым требованиям.

Самым важным выводом для нас, стремящихся установить коллективный контроль над эволюцией искусственной среды, является то, что ни профессиональный проектировщик, ни чертежная доска, на которой можно "подогнать" друг к другу отдельные части конструкции, не представляют собой необходимых условий, без которых не могут быть созданы изделия сложной формы, приспособленные к условиям их применения. Поэтому есть основания надеяться, что наши попытки придать проектированию характер совместной деятельности многих специалистов, каждый из которых решает свою часть проблемы, увенчаются успехом (и это несмотря на то, что сейчас нам с таким трудом дается согласование действий одного специалиста с действиями другого и с непрерывно изменяющейся формулировкой задачи в целом).

## **2.2. Чертежный способ проектирования**

Метод проектирования путем создания чертежей в определенном масштабе, видимо, хорошо знаком многим читателям.

Принципиальная разница между этим ныне общепринятым способом разработки формы для изделий машинного производства и предшествовавшей ему эволюцией форм в кустарных промыслах заключается в том, что здесь поиск методом проб и ошибок отделен от производства, что эксперименты и изменения проводятся на масштабном чертеже, а не на самом изделии. Такое отделение умозрительной разработки от

практического изготовления изделия имело ряд важных последствий:

1. Стало возможным задавать размеры изделия до его изготовления, а это позволило разделить труд по изготовлению отдельных частей изделия между несколькими работниками. Это и есть то самое разделение труда, которое знаменует собой одновременно и силу, и слабость индустриального общества.

2. Первоначально именно преимущества, связанные с вычерчиванием изделия до его изготовления, обеспечили возможность создания изделий, слишком больших для того, чтобы они могли быть изготовлены одним ремесленником, например крупных судов и зданий. Добиться взаимного согласования частей, выполненных разными ремесленниками, можно только тогда, когда заранее заданы основные размеры. (Обычно в процессе непрерывной пригонки одной детали к другой ремесленник вносит целый ряд мелких изменений и



контр-изменений, так что среди его изделий никогда не бывает двух совершенно одинаковых.) Конечно, несколько ремесленников могут работать вместе над одним крупным изделием, например телегой, без предварительного составления масштабного чертежа. Но тогда стыки частей, выполняемых разными работниками, задаются в виде стандартов на размеры или в форме полномасштабных шаблонов, обязательных для каждого из них. Когда же, как на рис.2.2, количество таких размеров и шаблонов велико, они просто сводятся все в один чертеж. Таким образом, можно считать, что в масштабном чертеже сводятся воедино отдельные его части, которые прежде хранились в форме заученных наизусть размеров, шаблонов и эмпирических правил.

3. Возникшее вместе с масштабными чертежами разделение труда дало возможность увеличить не только размеры изделий, но и темп их изготовления. Изделие, на создание которого у ремесленника-одиночки ушло бы несколько дней, разбивается на более мелкие стандартные детали, производство которых может идти одновременно, отнимает всего несколько часов или минут и требует лишь однообразного ручного или машинного труда. Для этого приходится заранее задавать такие размеры, которые ремесленник не стал бы фиксировать, обеспечивая себе возможность маневрирования при взаимной пригонке изделия и частей, при внесении тонких изменений в соответствии с конкретными потребностями данного клиента. Поэтому разделение труда влечет за собой потерю качества, что заставляет нас и по сей день при виде кустарных изделий вспоминать "добрые старые времена".

Естественно, все это приводит к тому, что основная часть трудностей и радостей творчества уходит из производственной сферы и становится уделом нового вида работников, тех, кто изготавливает чертежи. "Проектирование", или "конструирование", выделяется в особую профессию. Как мы увидим дальше, этот происходивший некогда переход от кустарного промысла к проектированию во многом сходен с происходящим ныне переходом от проектирования к проектным исследованиям, о чем в основном и идет речь в этой книге. Когда геометрические аспекты производства были сведены в чертеж, у проектировщика появилось гораздо более обширное "поле представлений", чем было у ремесленника. Конструктор может видеть все изделие целиком, манипулировать им, и ничто — ни неполнота сведений, ни боязнь дорогостоящей переделки самого изделия — уже не мешает ему вносить в конструкцию даже принципиальные изменения. С помощью линейки и циркуля он легко может найти траекторию движения любой детали и определить, как изменение формы одной из деталей скажется на конструкции всего изделия. Этим, пожалуй, и объясняется тот факт, что конструктор — едва ли не единственный специалист современной промышленности, остающийся "целостником", а не "частичником"; он защищает свое творение как единое целое, которое нужно либо принять без изменений, либо же все до основания переделать. Он слишком хорошо знает, сколько труда ему пришлось вложить в многократные циклы изменений, прежде чем было достигнуто тонкое равновесие, закрепленное в окончательном варианте его проекта.

Эта необходимость все время цикл за циклом двигаться по кругу застав-

ляет проектировщика в поисках новых решений работать не более чем над одним проектом одновременно вместо того, чтобы сопоставлять между собой несколько альтернативных проектов. Традиционный метод заключается в том, что на большом листе бумаги или на копиях с исходного эскиза или схемы вычерчиваются последовательные варианты решений. Отправной точкой для проектировщика служит единая конструкция, которая в довольно точном виде предстает перед его мысленным взором. Основным критерием для оценки различных вариантов конструкции служит геометрическая увязка деталей, которую можно определить по чертежу. Таким образом, процесс конструирования чертежным способом можно рассматривать как ускоренный вариант эволюции кустарного промысла, позволяющий за один раз изменять не одну, а целую совокупность деталей.

Соответствие разрабатываемого изделия условиям его изготовления и использования — это уже другой вопрос, и здесь проектировщик чувствует себя менее уверенно, чем ремесленник. Чтобы решить, какая конструкция окажется работоспособной, а какая нет, что можно изготовить, а что нельзя, конструктору приходится полагаться в основном на свою память и воображение. Для преодоления этой трудности введена стажировка конструкторов, во время которой они учатся распознавать нетехнологичные, дорогостоящие и неприемлемые для потребителя варианты решений. При этом "обучение" молодого конструктора обнаружению недостатков в своей работе проводится не на реальном рынке сбыта и не в реальном производственном процессе, а на основании оценок его руководителя — главного или ведущего конструктора. В производство передаются лишь чертежи, одобренные главным конструктором; значительно больше проектов бракуется в конструкторском бюро. Постепенно хороший конструктор-стажер выучивается предлагать своему руководителю только такие чертежи, которые тот, исходя из своего более богатого опыта, вероятнее всего, одобрит. К сожалению, ни у главного конструктора, ни у его помощников нет точного языка для описания будущих ситуаций, в соответствии с которыми они мысленно оценивают приемлемость предлагаемого проекта, — чертеж обладает тем существенным недостатком, что на нем невозможно отразить требования потребителей и трудности производства.

В какой-то мере эту проблему удастся разрешить путем изготовления моделей и опытных образцов для оценки и испытаний, а также путем расчетов для определения эксплуатационных характеристик важнейших деталей и узлов. Эти опытные образцы и расчеты равносильны шаблонам и критическим размерам, с помощью которых ремесленник закрепляет некоторые точки в сложившейся в его воображении сети подлежащих выполнению требований.

Важно отметить следующее: над чертежом одновременно может работать только один человек, и все ситуации, которым должна удовлетворять конструкция, приходится держать в одной голове. Из-за этого на ранних стадиях проектирования чертежным способом работу ведет всего один человек, чаще всего главный (ведущий) конструктор или руководитель группы. Только после того, как ведущему конструктору удалось сформулировать критические подпроблемы данной задачи и найти удовлетворительные решения этих подпроб-

лем (обычно это происходит на той стадии проектирования, которая осуществляется "на обороте старого конверта"), можно распределить работу между несколькими исполнителями. Рассматриваемые здесь новые методы были разработаны в первую очередь как раз для преодоления этого недостатка традиционных методов проектирования — невозможности привлечения многих умов к решению задачи на самом важном этапе проектирования.

Последовательность этапов инженерного конструирования в 1962 г. описал Азимов [6], и почти ту же последовательность для архитектурного проектирования приводит Королевский институт британских архитекторов [16]. Вот эти две последовательности:

ЭТАП	ИНЖЕНЕРНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ	АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
1.	<i>Оценка осуществимости</i> Отыскание комплекса поддающихся осуществлению концепций	1. Зарождение идеи 2. Возможность осуществления 3. Эскизные предложения
2.	<i>Эскизное проектирование</i> Отбор и разработка оптимальной концепции	4. Принципиальное решение планировок
3.	<i>Рабочее конструирование</i> Инженерное описание конструкции	5. Рабочее проектирование
4.	<i>Планирование</i> Оценка и изменение концепции в соответствии с требованиями производства, сбыта, эксплуатации и ликвидации использованного изделия	6. Производственная информация 7. Спецификации материалов 8. Сбор заявок на подряды 9. Организация строительства 10. Строительные работы 11. Завершение работ 12. Обратная связь

За различной и несколько условной терминологией, принятой в этих двух областях деятельности, проглядывает явное сходство методик. В обоих случаях проектирование начинается (этап 1) с восприятия информации. На ее основе быстро выстраивается некоторый комплекс альтернативных решений изделия в целом. На этапе 2 нужно отобрать одно из этих решений для дальнейшей разработки. Когда эта конструкция продумана настолько, что удовлетворяет главного конструктора, начинается рабочее конструирование, во время которого работу параллельно ведет много людей (этапы 3 и 4). Ясно, что если в начале этапа рабочего конструирования

обнаружится ложность посылок, на которых построен исходный вариант конструкции, этот процесс не сможет быть реализован.

Конечно, в мире можно найти немало технических изделий и строительных конструкций, свидетельствующих об успешном применении в прошлом чертежного способа проектирования. Однако, как мы увидим в гл.3, принцип, в соответствии с которым для определения формы целого достаточно, чтобы части этого целого были продуманы одним лишь главным конструктором, непригоден в новых ситуациях, когда необходимый для этого опыт выходит за пре-

дела возможностей одного человека.

### **Необходимость применения новых методов проектирования**

Из того, что пишут теоретики проектирования, явствует, что традиционный чертежный способ слишком прост для условий непрерывно возрастающей сложности искусственной среды. Это мнение получило широкое распространение и, пожалуй не требует дальнейших комментариев. Однако ниоткуда не следует, что новые методы, рассматриваемые в этой книге, будут лучше. Нет никаких убедительных свидетельств того, что хотя бы авторам новых методов удалось добиться их успешного применения, и многое говорит за то, что новички в области методологии проектирования, сталкиваясь с трудностями, зачастую прибегают к более освоенным, хотя и менее соответствующим цели, приемам. Основная трудность заключается в том, что проектировщик утрачивает контроль над ходом разработки, так как ему кажется, будто используемый им системный метод уводит его, все дальше от искомого решения.

Эта постоянно встречающаяся трудность заставляет предположить, что появившиеся до сих пор новые методы дают лишь частичное решение современных проблем проектирования. Если это верно, то прежде, чем браться за создание новых методов, стоит внимательнее разобраться в причинах, которые заставляют отказаться от старых. При этом мы, может быть, сделаем вывод, что от некоторых аспектов традиционных приемов проектирования следует отказаться, другие же необходимо сохранить. Чтобы определить сильные и слабые стороны традиционных методов, попытаемся ответить на четыре принципиальных вопроса:

1. Как решаются сложные задачи при традиционном проектировании?
2. В каком отношении современные задачи проектирования сложнее традиционных?
3. Какие межличностные барьеры мешают решению современных задач проектирования?
4. Почему сложность современных задач оказалась непосильной для традиционного процесса проектирования?

Это трудные вопросы, которые заслуживают глубокого исследования; пока же такое исследование не проведено, можно дать лишь некоторые приблизительные ответы.

#### **3.1 - Как решаются сложные задачи при традиционном проектировании?**

Мы уже видели, что черчение в масштабе — главный инструмент традиционного конструктора и проектировщика - имеет своей целью значительное расширение "поля представлений" проектировщика по сравнению с ремесленником. Оно дает ему возможность изменять форму изделия в целом вместо того, чтобы, подобно ремесленнику, вносить в него лишь мелкие коррективы. Таким образом, масштабный чертеж можно рассматривать как легко видоизменяемую модель взаимоотношений между деталями и узлами, из которых состоит изделие. Благодаря тому что эта модель легко поддается пониманию и изменению и способна хранить временное решение для одной детали, пока

прорабатывается другая, проектировщик получает возможность решать задачи столь невообразимой сложности, что их решение другими способами было бы невозможно. Если, например, конструктор создает изделие, состоящее из десяти деталей, и каждую деталь можно выполнить десятью различными способами, то общее число вариантов конструкции равно десяти миллиардам, из которых он должен выбрать какой-то один. Если же он использует чертеж для выбора одного комплекса из десяти геометрически совместимых друг с другом деталей, его задача сводится лишь к десятикратному выбору среди десяти частных решений. Общее количество альтернативных вариантов сокращается с десяти миллиардов до сотни. Даже если впоследствии он исследует еще девять конструкций (т. е. комплексов геометрически совместимых деталей), ему все же придется иметь дело только с тысячей возможных вариантов. Таким образом, мы видим, что масштабный чертеж резко сокращает затраты времени на выбор приемлемого варианта из огромного числа альтернатив. Это происходит потому, что чертеж позволяет разработчику игнорировать почти все поле поиска и сконцентрировать свое внимание на тех небольших его участках, где можно ожидать приемлемых решений.

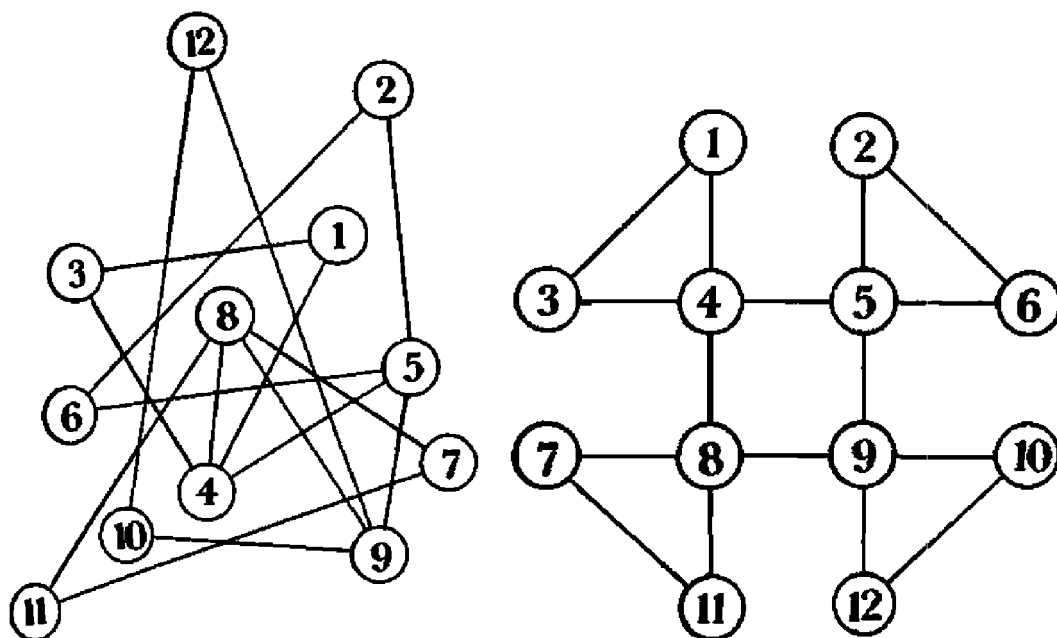
Когда же конструктор от внутренней увязки нового изделия переходит к его согласованию с внешними условиями, чертеж становится уже бесполезным, и разработчику приходится опираться в основном на свой опыт и воображение и — в меньшей степени — на расчет и испытание тех параметров, которые считаются наиболее важными для работы изделия. Слова "опираться на свой опыт и воображение" не так уж много говорят нам об этой загадочной — и, несомненно, важной — стороне проектирования. Наилучшее, что мы здесь можем предпринять, это обратиться к описаниям процессов творческого мышления, составленным различными авторами как на основе их собственного опыта, так и по наблюдениям за работой других. Литература по этому обильна, но почти бесполезна, так как речь в ней идет по большей части о таких актах мыслительной деятельности, которые по предположению должны были бы иметь место, но бесспорные свидетельства существования которых привести не удастся. Однако почти все авторы единодушно отмечают следующие три факта, представляющие большой интерес для нашего исследования:

1- Очень часто человек, стоящий на пороге оригинального решения, в течение длительного периода, как кажется, только впитывает информацию, сравнительно бесплодно работает над, казалось бы, тривиальными задачами, увлекается посторонними делами. Этот период известен как "вынашивание идеи".

2. Решение трудной задачи или возникновение оригинальной идеи зачастую происходит совершенно неожиданно ("озарение") и носит характер резкого изменения формулировки задач (смены "установки") - В результате такой трансформации сложная задача нередко становится простой.

3. Врагами оригинальности являются негибкость мышления и склонность принимать желаемое за действительное. Эти свойства проявляются в том, что человек ведет себя гораздо более "упорядоченно", чем того требует ситуация, или же неспособен заметить факторы внешней среды, которые воспрепятствуют осуществлению его идей.

Из этих наблюдений о характере творческого мышления и из сделанных ранее замечаний о роли чертежа мы можем прийти к выводу, что основной метод решения сложных задач заключается в их преобразовании в более простые. Этот процесс перекодирования или изменения структуры задачи основан на использовании некоторого образа (в нашем случае — чертежа или мысленной картины конструкции), который выдвигает на передний план наиболее важные стороны проекта. В свою очередь для преодоления трудностей и разрешения конфликтов путем такого преобразования задачи необходимо, во-первых» чтобы проектировщик мог достаточно глубоко и точно судить о том, как изменится формулировка задачи при внесении в конструкцию тех или иных существенных изменений, и, во-вторых, чтобы никакие субъективные или объективные препятствия не мешали проектировщику мыслить и действовать нестандартно. Можно предположить, что при выборе путей преобразования задачи при конструировании проектировщик будет опираться на свои этические убеждения и свою систему ценностей. Таким образом, мы видим, что в способности человека сводить сложные задачи к простым проявляется не только понимание этим человеком реальностей внешнего мира, но и его представление о том, что хорошо и что плохо, что красиво и что уродливо, что приносит радость и что вызывает скуку. Поэтому не удивительно, что требование внести в проект изменения вызывает эмоциональную — и явно нелогичную — реакцию.



Сложная сеть, изображенная на левом рисунке» становится намного проще, если ее узлы перераспределить в другом порядке, как показано на правом рисунке. Это равносильно "смене "установки", которая иногда позволяет решить до того неразрешимую задачу.

Из короткого анализа процесса проектирования чертежным способом и общепринятых представлений о любом процессе творческого мышления мы видим, что традиционный способ решения сложных задач состоит в том, чтобы

в каждый данный момент рассматривать лишь одну концепцию целого. Воплощенный в форме чертежа, этот принцип позволяет резко сократить гигантское — и в противном случае не поддающееся перебору — количество возможных решений, касающихся формы и положения каждой части конструкции. Когда такая стратегия упрощения не приводит к удовлетворительному результату, проектировщик преобразует концепцию, заложенную в чертежах, и заменяет ее новой концепцией, которая может коренным образом отличаться от первой и призвана ликвидировать источник первоначальных трудностей. Оказывается, предшествующий период накопления опыта и вынашивания идеи нужен был, чтобы построить в уме точную модель того, насколько проектная ситуация чувствительна к крупным изменениям концепции и какое они могут оказать на нее влияние. Таким образом, можно сказать, что в традиционных методах проектирования сложность создания проекта преодолевается путем выбора временного решения в качестве средства для оперативного исследования как ситуации, которой должен удовлетворять проект, так и взаимосвязей и зависимостей между составными частями конструкции,

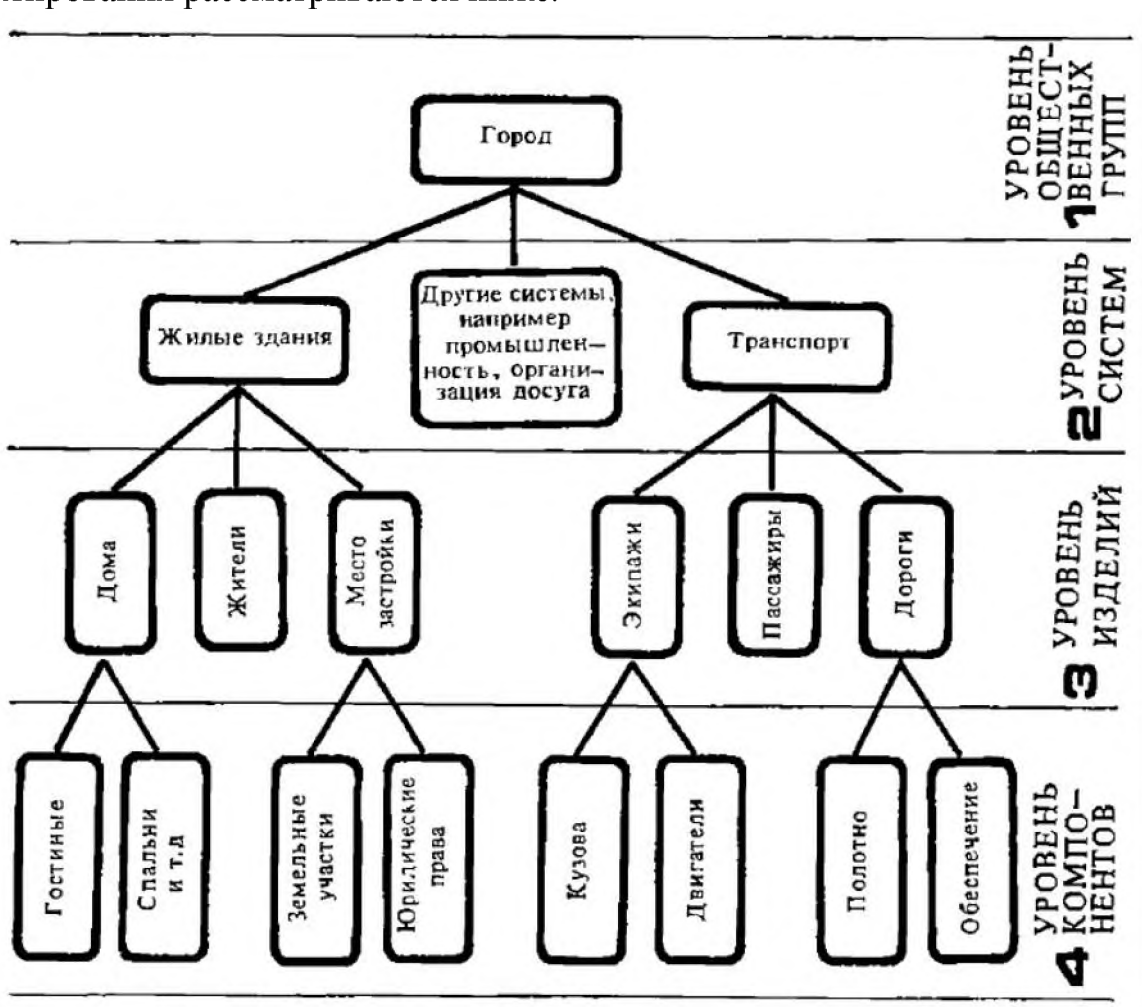
3.2. В каком отношении современные задачи проектирования сложнее традиционных?

Пожалуй, самым явным признаком того, что нам нужны более совершенные методы проектирования и планирования, является наличие в промышленно развитых странах крупных неразрешенных проблем, возникших в связи с применением искусственно созданных предметов. Примерами могут служить транспортные заторы, проблема парковки автомобилей, несчастные случаи на дорогах, теснота в аэропортах, шум самолетов, проблемы развития больших городов и хронический дефицит таких социальных услуг, как медицинское обслуживание, народное образование, пресечение и раскрытие преступлений. Эти недостатки нельзя считать ошибкой природы или "бичом божьим" и пассивно мириться с ними — напротив, их можно рассматривать как результат человеческого неумения предвидеть ситуации, которые возникают в результате появления проектируемых человеком изделий. С таким выводом многие не согласятся, так как он возлагает слишком большую ответственность на проектировщиков и слишком малую на всех остальных людей. Но тогда давно пора каждому, на кого влияют ошибки и недостатки проектировщиков, принять участие в процессе проектирования.

Если внимательно рассмотреть расширение процесса проектирования при включении в него помимо вопросов создания изделий также и задач проектирования систем (т. е. связанных отношений между изделиями), мы увидим, что при этом к иерархии предметов, относящихся к традиционной сфере деятельности проектировщика, добавляется еще одна ступень. Если же еще более расширить объем понятия "проектирование", включив в него политические и социальные аспекты поведения потребителей, связанные с отношениями между системами, обнаружится наличие еще одной ступени — уровня общественных групп, или «социальной сферы».

Многие нерешенные проблемы проектирования встречаются в этой иерархии уже на уровне систем. В настоящее время этот уровень лежит вне сферы

традиционного проектирования и в то же время ниже уровня эффективной деятельности социальной сферы. Пока все говорит за то, что для ликвидации таких неприятных явлений, как транспортные пробки или дефицит дешевой жилой площади, недостаточно действий только социальной сферы, исходят ли они от правительства страны, муниципалитета или группы лиц, особенно страдающих от этих явлений. Отсюда становится очевидной необходимость сочетания силы политического воздействия и организационного планирования с гибкостью и силой предвидения, свойственными процессу проектирования изделий, чтобы в разработке систем в представленной на рис. иерархии процветала гармония, а не нарастал беспорядок. Это потребовало бы "вертикального" проектирования, направленного вдоль каждой ветви дерева, изображенного на рис., что позволило бы предвидеть результат каждого решения проектировщика на каждом из четырех уровней. Некоторые возможности такого расширенного процесса проектирования рассматриваются ниже.



Увеличение (с двух до четырех) количества иерархических ступеней, открытых для проектирования, означает резкое уменьшение стабильности проектной ситуации и одновременно с этим существенное повышение ее сложности. Такое расширение сферы проектирования по меньшей мере равноценно совершенному ранее переходу от кустарного промысла к чертежному способу проектирования, т.е. переходу от самой первой ступени иерархии к



двум нижним ступеням. Такой переход (переход к ситуации, которую Бакминстер Фуллер назвал "тотальным проектированием") не может не привести к самым серьезным последствиям, так как он предполагает возможность осуществлять непрерывную перестройку сверху донизу всей структуры индустриального общества. После утраты былой уверенности в устойчивости на среднем уровне — сначала из-за отсутствия больших систем, а затем из-за беспомощности перед лицом их неуправляемого роста - пожалуй, почти не остается несомненных положений и надежных точек опоры. В условиях этой новой лабильности наиболее вероятными препятствиями к изменениям и факторами преемственности становятся уже не физические пределы возможностей материала, а идеи, мнения, ценности и убеждения отдельных людей. Поэтому можно ожидать, что выбор технических решений будет все в большей мере определяться общественными воззрениями и идеологией. Каким иным способом найти ответ на такие принципиальные вопросы, как равновесие между свободой потребительского выбора и централизованным руководством при разработке автоматизированных систем городского транспорта (взамен личных автомобилей) или при развитии сети учебного телевидения (взамен школ и высших учебных заведений)? Ясно, что расширенный процесс проектирования, который необходим, но пока не реализован, должен учитывать политические и моральные факторы и неопределенности и давать информацию соответствующим общественным институтам. Естественно было бы задуматься над вопросом: в чем заключалась бы разница между автоматизированными системами транспорта или сетями учебного телевидения» воплощающими капиталистические, католические или, скажем, буддистские принципы? И не возникнет ли какая-нибудь новая, более универсальная, чем эти, система взглядов, когда появится необходимость во всемирной унификации больших систем?

Очевидно, что проектировщики будущего найдут неведомые ныне отправные точки. Их задача будет заключаться в том, чтобы воплотить в жизнь новые идеи, отбросив при этом физические и организационные основы старых. В этих условиях бессмысленно рассматривать проектирование как удовлетворение существующих потребностей. Новые потребности возникают, а старые исчезают в ответ на изменение системы имеющихся возможностей их удовлетворения. Теперь задача проектирования уже не состоит в увеличении стабильности искусственной среды; она состоит в изменении — на благо или во вред - того, что определяет направление развития этой среды.

Пожалуй, труднее всего будет приспособиться именно к этой неустойчивости настоящего перед лицом технических изменений, которые были запланированы в прошлом и должны сбыться в будущем. Ведь мы до сих пор не свыклись с теперь уже общепризнанным утверждением, что изучение сегодняшних потребностей вовсе не всегда позволяет предсказать, что будет нужно людям в будущем, когда появятся новые технические возможности. Какую пользу мог бы извлечь Генри Форд от исследования рынка личных легковых автомобилей в период 1914 г. и что может дать тем, кто ныне стремится разрешить проблемы транспортных заторов, изучение нужд современного потребителя в автоматизации городского транспорта?

Очень многим людям придется отрешиться от веры в устойчивость настоящего, чтобы создать социальные предпосылки для планирования на основе того, что будет осуществимо завтра, а не на основе того, что было достижимо в недавнем прошлом. Новая мысль, которую здесь нужно усвоить, заключается в следующем: не столь важно во всех подробностях понять, каким образом современное население приспособилось к существующей обстановке; главное — определить, насколько легко или трудно население будущего преодолет порог между сегодняшним положением вещей и каждым из нескольких возможных вариантов реорганизации искусственной среды в будущем.

Возвращаясь от этой общей панорамы к реальным условиям современного проектирования, мы сталкиваемся с рядом дополнительных осложнений, которые не встречались проектировщикам раньше. Одни из этих осложнений являются внешними по отношению к изделию, другие свойственны самому объекту проектирования. Некоторые из них перечислены ниже.

#### Внешние осложнения

1 Перенос технических решений, т.е. планомерный поиск в отдаленных отраслях технологии таких изобретений и разработок, которые позволяют решить данную задачу проектирования. Пример: использование новейших достижений в области производства пластмасс позволило резко понизить стоимость и расширить сбыт домашней мебели.

2- Возможность возникновения побочных эффектов при использовании нового разрабатываемого изделия, которую необходимо прогнозировать на ранней стадии проектирования, когда еще можно с их учетом изменить конструкцию изделия и организацию системы. Пример: изучение общественного мнения на шум реактивных самолетов до принятия окончательного решения о создании в США сверхзвукового пассажирского лайнера.

3- Применение единых фирменных, национальных или международных стандартов для обеспечения совместимости изделий взаимодействующих систем- Примеры: межконтинентальные стандарты на цветное телевидение, электрические вилки и розетки, детали для крупноблочного строительства, требования к безопасности автомобилей и др.

4- Чувствительность к совпадениям, часто возникающая в тех случаях, когда один и тот же человек использует изделия, принадлежащие двум различным системам- Пример: конструкцию и технологию производства пластмассовых стульев пришлось изменить потому, что от мелких неровностей на поверхности стула распускались петли на нейлоновых чулках, так что такие стулья перестали пользоваться спросом. Могли ли создатели стульев и создатели чулок заранее предвидеть, что их изделия вступят в критическое взаимодействие, когда носить чулки и сидеть на стуле будет один и тот же человек? Количество таких возможных совпадений для любой конструкции колоссально -

5. Невозможность устранения крупных несоответствий между изделиями без реорганизации всей системы отношений и коренного преобразования изделий, которое позволяло бы перераспределить функции. Пример невозможность решения проблемы транспортных заторов, пока функции управления движением от жесткой системы дорожных знаков и действий самих водителей не будет

передано автоматической системе управления.

#### Внутренние осложнения

1- Постоянный рост капиталовложений, необходимых для получения существенного экономического эффекта от новой конструкции. Пример: растущие расходы на технологическую подготовку производства нового самолета, нового автомобиля, системы управления дорожным движением, крупноблочного строительства. В результате стоимость ошибки проектировщика настолько возрастает что каждый проект должен быть удачным с первого предъявления, а поиск методом проб и ошибок недопустим.

2- Трудность приложения сведений, заимствованных из посторонних источников, к имеющейся задаче проектирования без нарушения внутреннего равновесия между частями конструкции, которого удалось добиться на предыдущих стадиях проектирования. Пример: инженер-механик может предложить способ увеличения прочности формованной пластмассовой детали, не сознавая, что он при этом разрушает интуитивно найденное технологом тонкое соответствие между геометрией отливки и скоростью ее затвердевания

3. Крайняя сложность определения рациональной последовательности принятия решений, когда поток новых потребностей, новых технологических процессов и новых идей непрерывно изменяет систему отношений между параметрами решения. Можно ли, например, установить определенную последовательность принятия решения и тем самым исключить излишние пересмотры проекта при проектировании лекционного зала, когда такие факторы, как развитие учебного телевидения или рост числа и многолюдности конференций, влияют на самый характер деятельности как лектора, так и аудитории?

Наверное, этот список неполон, а некоторые его пункты частично перекрывают друг друга, но он не оставляет сомнений в том, что самый характер новых трудностей проектирования не позволяет решить их одному конструктору "в уме", а чертежная доска здесь тоже не поможет- В таком случае посмотрим, нельзя ли при принятии проектных решений использовать знания многих других людей.

### **Понятие системы автоматизированного проектирования**

#### **Система автоматизированного проектирования, САПР, САД -**

автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности. Также для обозначения подобных систем широко используется аббревиатура САПР (система автоматизации проектных работ). Такая расшифровка точнее соответствует аббревиатуре. Для перевода САПР на английский язык зачастую используется аббревиатура САД (англ. computer-aided design), подразумевающая использование компьютерных технологий в проектировании. Однако в ГОСТ 15971-90 это словосочетание приводится как стандартизированный англоязычный эквивалент термина "автоматизированное проектирование". Понятие САД не является полным эквивалентом САПР, как организационно-технической системы. Термин

САПР на английский язык может также переводиться как CAD system, automated design system, CAE system.

САПР - это не системы автоматического проектирования. Понятие “автоматический” подразумевает самостоятельную работу системы без участия человека. В САПР часть функций выполняет человек, а автоматическими являются только отдельные проектные операции и процедуры. Слово “автоматизированный”, по сравнению со словом “автоматический”, подчёркивает участие человека в процессе.

В ряде зарубежных источников устанавливается определённая соподчиненность понятий CAD, CAE, CAM. Термин CAE (computer-aided engineering) определяется как наиболее общее понятие, включающее любое использование компьютерных технологий в инженерной деятельности, включая CAD и CAM (computer-aided manufacturing). Для обозначений всего спектра различных технологий автоматизации с помощью компьютера, в том числе средств САПР, используется термин CAx (англ. computer-aided technologies).

## **Цели создания и задачи САПР**

В рамках жизненного цикла промышленных изделий САПР решает задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства. Основная цель создания САПР — повышение эффективности труда инженеров, включая:

- сокращения трудоёмкости проектирования и планирования;
- сокращения сроков проектирования;
- сокращения себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию;
- повышения качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
- сокращения затрат на натурное моделирование и испытания.

Достижение этих целей обеспечивается путем:

- автоматизации оформления документации;
- информационной поддержки и автоматизации процесса принятия решений;
- использования технологий параллельного проектирования;
- унификации проектных решений и процессов проектирования;
- повторного использования проектных решений, данных и наработок;
- стратегического проектирования;
- замены натуральных испытаний и макетирования математическим моделированием;
- повышения качества управления проектированием;
- применения методов вариантного проектирования и оптимизации.

## **Структура САПР**

В соответствии с ГОСТ, в структуре САПР выделяют следующие элементы: КСАП САПР — комплекс средств автоматизации проектирования САПР, подсистемы САПР, как элемент структуры САПР, возникают при эксплуатации пользователями КСАП подсистем САПР.

КСАП-подсистемы САПР — совокупность ПМК, ПТК и отдельных компонентов обеспечения САПР, не вошедших в программные комплексы, объединённая общей для подсистемы функцией.

ПТК — программно-технические комплексы компоненты обеспечения ПТК САПР

ПМК — программно-методические комплексы компоненты обеспечения ПМК САПР

компоненты обеспечения САПР, не вошедшие в ПМК и ПТК

Совокупность КСАП различных подсистем формируют КСАП всей САПР в целом.

## **Подсистемы САПР**

По ГОСТ 23501.101-87, составными структурными частями САПР являются подсистемы, обладающие всеми свойствами систем и создаваемые как самостоятельные системы. Каждая подсистема — это выделенная по некоторым признакам часть САПР, обеспечивающая выполнение некоторых функционально-законченных последовательностей проектных задач с получением соответствующих проектных решений и проектных документов. По назначению подсистемы САПР разделяют на два вида: проектирующие и обслуживающие.

Обслуживающие подсистемы — объектно-независимые подсистемы, реализующие функции, общие для подсистем или САПР в целом: обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, оформление, передачу и вывод данных, сопровождение программного обеспечения и т. п., их совокупность называют системной средой (или оболочкой) САПР.

Проектирующие подсистемы — объектно-ориентированные подсистемы, реализующие определенный этап проектирования или группу связанных проектных задач. В зависимости от отношения к объекту проектирования, делятся на:

Объектные — выполняющие проектные процедуры и операции, непосредственно связанные с конкретным типом объектов проектирования.

Инвариантные — выполняющие унифицированные проектные процедуры и операции, имеющие смысл для многих типов объектов проектирования.

Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

Типичными обслуживающими подсистемами являются:

- подсистемы управления проектными данными
- обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР
- подсистемы графического ввода-вывода
- система управления базами данных (СУБД).

## **Компоненты и обеспечение**

Каждая подсистема, в свою очередь состоит из компонентов, обеспечивающих функционирование подсистемы.

Компонент выполняет определенную функцию в подсистеме и представляет собой наименьший (неделимый) самостоятельно разрабатываемый или покупной элемент САПР (программа, файл модели транзистора, графический дисплей, инструкция и т. п.).

Совокупность однотипных компонентов образует средство обеспечения САПР. Выделяют следующие виды обеспечения САПР:

Техническое обеспечение (ТО) — совокупность связанных и взаимодействующих технических средств (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое оборудование, линии связи, измерительные средства).

Математическое обеспечение (МО), объединяющее математические методы, модели и алгоритмы, используемые для решения задач автоматизированного проектирования. По назначению и способам реализации делят на две части:

- математические методы и построенные на них математические модели;
- формализованное описание технологии автоматизированного проектирования.

Программное обеспечение (ПО). Подразделяется на общесистемное и прикладное:

- Прикладное ПО реализует математическое обеспечение для непосредственного выполнения проектных процедур. Включает пакеты прикладных программ, предназначенные для обслуживания определенных этапов проектирования или решения групп однотипных задач внутри различных этапов (модуль проектирования трубопроводов, пакет схемотехнического моделирования, геометрический решатель САПР).
- Общесистемное ПО предназначено для управления компонентами технического обеспечения и обеспечения функционирования прикладных программ. Примером компонента общесистемного ПО является операционная система.
- Информационное обеспечение (ИО) — совокупность сведений, необходимых для выполнения проектирования. Состоит из описания стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, комплектующих изделий и их моделей, правил и норм проектирования. Основная часть ИО САПР — базы данных.
- Лингвистическое обеспечение (ЛО) — совокупность языков, используемых в САПР для представления информации о проектируемых объектах, процессе и средствах проектирования, а также для осуществления диалога проектировщик-ЭВМ и обмена данными между техническими средствами САПР. Включает термины, определения, правила формализации естественного языка, методы сжатия и развертывания.

В лингвистическом обеспечении выделяют класс различного типа языков проектирования и моделирования (VHDL, VERILOG, UML, GPSS).

Методическое обеспечение (МетО) — описание технологии функционирования САПР, методов выбора и применения пользователями технологических приемов для получения конкретных результатов. Включает в себя теорию процессов, происходя-

щих в проектируемых объектах, методы анализа, синтеза систем и их составных частей, различные методики проектирования. Иногда к МетО относят также МО и ЛО.

Организационное обеспечение (ОО) — совокупность документов, определяющих состав проектной организации, связь между подразделениями, организационную структуру объекта и системы автоматизации, деятельность в условиях функционирования системы, форму представления результатов проектирования... В ОО входят штатные расписания, должностные инструкции, правила эксплуатации, приказы, положения и т. п.

В САПР как проектируемой системе выделяют также эргономическое и правовое обеспечения.

Эргономическое обеспечение объединяет взаимосвязанные требования, направленные на согласование психологических, психофизиологических, антропометрических характеристик и возможностей человека с техническими характеристиками средств автоматизации и параметрами рабочей среды на рабочем месте.

Правовое обеспечение состоит из правовых норм, регламентирующих правоотношения при функционировании САПР, и юридический статус результатов её функционирования.

## Обзор новых методов проектирования

При рассмотрении новых методов, описываемых ниже, не всегда легко сразу увидеть, что у них общего друг с другом и как они соотносятся с традиционными методами, которые они призваны сменить. На первый взгляд кажется, что применение столь обширного множества новых приемов — от "мозговой атаки" и "синектики" до "стоимостного анализа" и "системотехники" — внутренне противоречиво и нецелесообразно. При более близком знакомстве с ними возникает мысль, что за внешним разнообразием скрыто несколько новых принципов проектирования, которые представляют большую ценность для проектировщиков, чем сами методы. Однако из еще более глубокого анализа становится ясно, что объектом новых методов является не столько проектирование в общепринятом смысле этого слова, сколько мыслительная деятельность, предшествующая выполнению чертежей и проектов. В этой главе мы намерены исследовать вопросы такого рода и дать пояснения, которые могут оказаться полезными как студентам, изучающим вопросы проектирования, так и практически работающим инженерам-проектировщикам.

Эта глава в несколько иной редакции под названием "Современные методы проектирования" была опубликована в книге Бродбента и Уорда, а также в «Трудах Конференции Группы методов проектирования».

Прежде всего возникает вопрос: что общего у всех новых методов проектирования? Самый очевидный ответ был уже дан выше: все эти методы направлены на то, чтобы заставить проектировщика "думать вслух", позволить другим людям ознакомиться с процессами мышления, которые до сих пор протекали у него в голове, объективировать (*externalize*) процесс проектирования. В одних случаях это достигается с помощью слов, в других — в форме математических символов, но почти всегда используется какая-нибудь схема, позволяющая разделить задачу проектирования на части и указать взаимные связи между этими частями. Естественно, что в основе всегда лежит стремление добиться большего контроля над процессом проектирования, особенно на уровне систем. Основное преимущество такого обдумывания проекта "в открытую" заключается в том, что другие люди, например потребители, могут следить за происходящими событиями и участвовать в них, сообщая проектировщику те сведения и оценки, которые выходят за пределы его знаний и опыта.

Рассмотрев вкратце общую цель всех предложенных доньше весьма разнообразных новых методов, мы можем теперь заняться вопросом о том, чем эти методы отличаются один от другого, и попытаться оценить их практическую пользу. Это проще всего сделать, если оценить их с трех точек зрения: насколько они способствуют творчеству, насколько они логичны и насколько они позволяют управлять процессом проектирования. Каждую из этих трех точек зрения на проектирование можно символически представить в виде некоторой кибернетической модели проектировщика. С точки зрения исследования творчества проектировщик представляет собой черный ящик, на выходе которого возникает загадочное творческое озарение; с точки зрения логики проектировщик — это прозрачный ящик, в котором происходит логический процесс, до



конца поддающийся объяснению; с точки зрения управления проектировщик является самоорганизующейся системой, которая способна отыскивать кратчайшие пути на неведомой территории. Последняя, наименее привычная точка зрения прямой дорогой ведет нас к вопросу о практической ценности теории проектирования и о дальнейших шагах в разработке эффективных методов проектирования.

#### **4.1. Проектировщик как «черный ящик»**

Немногочисленная, но авторитетная группа теоретиков проектирования, в первую очередь Осборн, Гордон, Мэтчетт и Бродбент считает, что самая важная часть процесса проектирования совершается в голове проектировщика, в определенной мере даже в области, неподотчетной сознанию. Отстаивая такую точку зрения, теоретики "творческого подхода" противопоставляют себя сторонникам взглядов на проектирование как на логический процесс и находят поддержку со стороны многих практиков. Несмотря на такое допущение об "алогичности" творческого процесса, взгляд на проектировщика как на "черный ящик" можно вполне убедительно выразить на языке кибернетики или физиологии; можно сказать, что проектировщик, как и все живые существа, способен получать на выходе решения, которым он доверяет и которые часто оказываются удачными, хотя сам он не может объяснить, каким образом ему удалось прийти к этим решениям. Описав загадки творчества в такой форме, мы замечаем, что это всего лишь частный случай не менее загадочного процесса, с помощью которого мы получаем почти все наши выходные реакции или действия, не будучи в состоянии объяснить, как это происходит. Кажущиеся простыми действия, совершаемые нами при письме или когда мы не глядя берем карандаш со стола, объяснить оказывается ничуть не проще, а, может быть, даже сложнее, чем объяснить, как сочиняется симфония. (Еще никому не удалось запрограммировать машину для выдачи выходных сигналов, которые по своей "разумности" хотя бы в отдаленной степени напоминали сигналы, управляющие движениями нашего тела, в то время как возможность автоматического сочинения музыки уже маячит на горизонте.) Большинство действий человека можно объяснить только на основе допущения, что их осуществление в значительной мере определяется тонкой работой нервной системы без вмешательства сознания. Творческий взгляд на проектирование, в соответствии с которым проектировщик - это маг (рис. 4.1), является поэтическим описанием того, что лежит в основе действий человека и любого живого организма, обладающего нервной системой.

Поэтому было бы логично считать, что управление сложными действиями осуществляется неосознанно, и нелогично предполагать, что проектирование можно до конца объяснить логическим путем.

Ньюмен, так же как и многие другие исследователи, попытался понять, каким образом в нервной системе возникает все огромное многообразие выходных реакций. Он предположил, что мозг — это переменная сеть, изменяющая свою структуру в зависимости от того, какие сигналы поступают на нее из внешнего мира. Согласно этой теории, которой трудно найти физиологическое обоснование, "озарение", о котором сообщали многие творческие личности,

возникает, когда такая сеть после многих неудачных попыток находит структуру, соответствующую полученным незадолго перед этим входным сигналам. Экспериментальное исследование памяти (Бартлетт) заставляет предположить, что при каждом извлечении из памяти прошлый опыт предстает в новом варианте. Объединяя эти две гипотезы, можно прийти к выводу, что мозг — это полуавтоматическое устройство, способное разрешать противоречия между различными сигналами (т. е. решать задачи) путем такой перестройки своей структуры, чтобы она соответствовала как текущим входным сигналам, так и многим хранящимся в памяти ранее полученным сигналам. Если верить психологам и клиницистам, этому процессу может противодействовать или способствовать наличие неразрешенных конфликтов, сохранившихся с давних времен, возможно, еще с раннего детства. Не подлежит сомнению, что выходные сигналы мозга определяются не только текущей ситуацией, но и ситуациями, пережитыми в прошлом. Этим мы лишь витиеватым образом выражаем тот очевидный эмпирический факт, что нельзя быть хорошим проектировщиком, не имея соответствующего опыта. Но этим выражается и другой, не столь очевидный факт, а именно что любой входной сигнал может ограничить разнообразие выходных реакций, доступных данному организму, и что разрешению конфликтов, сохранившихся от прошлого опыта, отдается предпочтение перед разрешением конфликтов, связанных с текущими ситуациями: Бродбент указывает на то, что негибкость мышления (или стремление к определенности) является главным врагом творческого мышления; он приходит к выводу, что тот, кто хочет создать проект, выходящий за рамки стереотипа, должен обладать большой терпимостью к неопределенности и внутренним противоречиям. Можно, однако, утверждать и обратное: не имея груза неразрешенных в прошлом конфликтов и навязчивых идей (а именно они считаются причиной негибкого мышления), человек, по-видимому, становится менее активным, теряет способность разрешать противоречия между текущими входными сигналами и выдает не более чем компромиссные решения. Быть может, для того чтобы иметь возможность и желание разрешить тот или иной конфликт в конкретной задаче проектирования, нужно не столько обладать творческими способностями, сколько иметь соответствующий данному случаю опыт и соответствующую подвижность нервной системы. Пока нет надежных данных о работе мозга, рассуждать на эту тему можно до бесконечности; поэтому оставим теперь загадки мышления в покое и рассмотрим некоторые методы проектирования, разработанные с целью стимулирования "творчества".

### ***Мозговая атака***

Как мы увидим ниже, сеанс "мозговой атаки" — это беседа, каждый участник которой свободно выдвигает предложения, а критика запрещена. Можно считать, что этот метод снимает социальные запреты, налагаемые каждым человеком на свои высказывания в обычном разговоре: это сознательный возврат к нелогичной и "эгоцентричной" детской болтовне, которая изучалась Пиаже [26] и другими исследователями. Если считать человека "черным ящиком", разумно предположить, что устранение фильтров на выходе по меньшей мере увеличит количество выходных сигналов, если не повысит их качество. Как

указывается в выводах, сделанных ниже, практическая ценность мозговой атаки заключается именно в том, что на ранних этапах проектирования, когда структура задачи еще не ясна и не подверглась трансформации, резко повышается скорость генерирования данных, имеющих отношение к этой задаче. Результаты мозговой атаки целесообразно ввести в "черный ящик" одного человека, поручив ему классифицировать все высказанные случайные идеи, сведя их в согласованную структуру.

### ***Синектика***

В рамках той же концепции "черного ящика" можно рассматривать метод, изложенный в разд. 10.2, как передачу выходного сигнала "черного ящика" по цепи обратной связи снова на его вход, причем для преобразования выходного сигнала во входной используются тщательно отобранные типы аналогий.



Можно предположить, что применение аналогий, в котором участвуют все члены синектической группы, позволяет им в определенной мере разделять друг с другом свою способность преобразовывать противоречивую структуру входных сигналов до тех пор, пока не будет найдена структура, позволяющая разрешить конфликт. Тот факт, что в этом методе основной упор делается на биологические и анатомические аналогии, наводит на мысль, что здесь преследуется цель использовать те отделы нервной системы, которые управляют движениями тела и обычно не контролируются сознанием. О'Догерти [27] утвер-

ждает, что манипулирование образами движений тела составляет основу тех профессиональных навыков, которые связаны с выполнением быстрых движений, и что одаренные люди способны использовать эту систему образов в качестве общего языка для всех видов творческой деятельности. Если это утверждение верно, то перспективы объективирования мышления при проектировании, по-видимому, будут зависеть от того, удастся ли найти групповой язык, на котором можно было бы быстро отображать и изменять общие формы, а не только детали как задач, так и их решений (предполагается, что в нервной системе отдельного человека аналогичную роль выполняют образы движений тела). Мэтчетту, по-видимому, удалось указать образы, позволяющие привести мысли проектировщика в соответствие со структурой конкретной задачи проектирования.

В отношении методов проектирования, основанных на представлении о проектировщике как "черном ящике", можно сделать следующие основные выводы:

1. Выходные действия проектировщика определяются входными сигналами, исходящими от подлежащей решению задачи, а также другими входными воздействиями, связанными с предыдущими задачами и прошлым опытом.

2. Согласившись временно ослабить социальные запреты, можно ускорить образование выходных сигналов, но при этом они приобретают более случайный характер.

3. Чтобы проектировщик мог выдать выходные сигналы в соответствии с поставленной задачей, ему нужно дать время на осознание и преобразование (в уме) образов, изображающих структуру задачи в целом. В течение длительных и внешне бесплодных поисков решения он может неожиданно найти новый способ структурирования задачи, позволяющий разрешить конфликты. Это приятное событие, которое иногда называют творческим озарением, дает возможность преобразовать сложную задачу в простую.

4. Контроль интеллекта над формами ввода структуры задачи в "черный ящик" проектировщика, по-видимому, повышает вероятность получения выходных реакций, содержащих решение задачи.

#### **4.2. Проектировщик как «прозрачный ящик»**

В большинстве своем методы проектирования преследуют цель объективирования процесса и результатов мышления, поэтому они исходят из логических, а не каких-либо мистических предположений. Считается, что процесс проектирования может быть объяснен до конца, даже если проектировщик-практики и не в состоянии убедительно обосновать каждое из принимаемых ими решений. Авторы большинства описываемых ниже системных методов проектирования, по-видимому, исходят из того, что проектировщик всегда вполне осознает свои действия и их причины.

Логическое, или систематическое, поведение проектировщика напоминает работу вычислительной машины: он пользуется только той информацией, которая в него введена, и действует по заданной схеме, проводя анализ, синтез, оценку и повторение циклов до тех пор, пока не найдет наилучшее из всех возможных решений. Такое предположение, несомненно, справедливо в случае

оптимизации переменных в хорошо известной ситуации проектирования, но оно лежит также в основе таких системных методов проектирования, как морфология и системотехника, которые призваны дать человеку возможность решать непривычные для него задачи проектирования "машинными" приемами. Методы, в которых проектировщик рассматривается как "прозрачный ящик", характеризуются следующими общими чертами:

- 1) цели, переменными критерии задаются заранее;
- 2) поиску решения предшествует проведение (или хотя бы попытка проведения) анализа;
- 3) оценка результатов дается в основном в словесной форме и построена на логике (а не на эксперименте);
- 4) заранее фиксируется стратегия; обычно используются последовательные приемы, но иногда включаются и параллельные, условные и циклические операции.

Применение к проектировщику этих на первый взгляд сковывающих ограничений нельзя считать заведомо оправданным или неоправданным. При решении некоторых задач проектирования методы "прозрачного ящика" оказываются более эффективными, чем методы "черного ящика", но в других случаях они приводят к путанице, так что проектировщикам приходится прибегать к привычному для них поведению "черного ящика".

#### ***Расчленимые задачи проектирования***

При применении методов "прозрачного ящика" коренным вопросом является возможность расчленения, или декомпозиции, задачи на отдельные части, которые можно затем решать последовательно или параллельно. Когда задача поддается расчленению, решению каждой частной подзадачи можно уделить больше внимания, что позволяет резко сократить сроки проектирования. Конечно, крупные задачи проектирования всегда на том или ином этапе удастся расчленивать, чтобы распределить работу между многими проектировщиками, но этап, на котором это членение становится возможным, очень сильно зависит от типа изделия. При разработке химического оборудования, сетей электропередач, телефонных систем и подобных им объектов задача с самого начала поддается декомпозиции на ряд частных вопросов, решать которые можно параллельно. Это связано с тем, что такие объекты представляют собой поточные системы, т.е. сложные агрегаты, в которых каждая функция выполняется отдельным узлом, а каждый узел связан с другими узлами лишь заранее заданными входными и выходными воздействиями. Функции однозначно связаны с отдельными физически различимыми узлами. Все входные и выходные воздействия в системе можно задать с самого начала, а затем при разработке узлов считать, что если узел имеет требуемые входные и выходные характеристики, его можно включить в систему. Небольшие отступления от заданных входных и выходных характеристик и компромиссные решения в отношении выбора узлов не вызывают резкого нарушения заданной последовательности в работе. Чтобы процесс проектирования оставался управляемым при решении задач такого рода, желательно пользоваться простыми методами типа "прозрачного ящика"; многие же более сложные из рассмотренных ниже методов проектирования, по-

видимому, также могут быть с успехом применены в тех случаях, когда принципиальные решения не зависят от конкретного физического исполнения отдельных узлов.

### ***Нерасчленимые задачи проектирования***

Многие задачи проектирования, как крупные, так и мелкие, вообще не поддаются или лишь с трудом поддаются такого рода расчленению без ущерба для рабочих характеристик, стоимости, массы, внешнего вида или других показателей, что требует компромиссных решений для сбалансирования различных деталей друг с другом. Такие ситуации возникают при проектировании зданий, автомобилей, станков и других объектов, в которых функции не связаны со специализированными узлами, а сложным и непредсказуемым образом распределены по всему изделию. Обычно в таких случаях на какого-то опытного работника — руководителя проекта — возлагается полная ответственность за все существенные решения, будь то общая схема изделия или тонкие, но важные особенности конструкции деталей. Хорошим примером может служить архитектор, который несет ответственность как за общую планировку здания, так и за детали оформления окон, играющие существенную роль в реализации задуманного им внешнего вида здания. Другим примером может служить главный конструктор, который отвечает не только за эксплуатационные характеристики новой машины, но и за выбор важнейших входящих в нее деталей. Во всех таких случаях руководитель проекта на основе имеющегося у него опыта решения аналогичных задач сначала решает основные частные задачи, а затем определяет общую схему изделия и распределяет остальную работу между своими помощниками. Ясно, что здесь используются методы "черного ящика".

При решении часто повторяющихся задач, таких, как проектирование дорог, перекрытий, турбин, электрических цепей, электродвигателей и т.д., иногда удается всецело объективировать опыт разработчиков и полностью автоматизировать процесс проектирования. Это метод "прозрачного ящика" в чистом виде. Однако чаще всего, и особенно в тех случаях, когда достаточно высок риск совершения дорогостоящей ошибки в проектировании, это оказывается невозможным ввиду отсутствия необходимого опыта: его приходится искусственно создавать путем проведения испытаний и исследований в рамках процесса проектирования. Здесь ни методы "прозрачного ящика", ни методы "черного ящика" уже недостаточны, а нужны, по-видимому, новые методы и средства проектирования, которые сочетали бы в себе лучшие черты обоих подходов.

### ***Цикличность***

Ясно, что основной целью методологии проектирования является уменьшение цикличности и увеличение линейности проектирования. Наличие цикличности предполагает, что важнейшие частные задачи остаются незамеченными до поздних этапов работы, а когда они обнаруживаются, требуется пересмотр решений, положенных в основу проекта, или даже полное прекращение работы. Линейность же предполагает, что все важнейшие проблемы можно обнаружить с самого начала, а риск того, что на более поздних этапах большие затраты труда разработчиков придется списывать в убытки почти или совсем исчезает. Полной линеаризации всякой разработки мешает непредска-

зуюмость зависимостей между отдельными частями задачи. Как показал Лакмен, схема зависимостей между подпроблемами одной задачи носит непостоянный характер и находится в зависимости от выбора частных решений каждой подпроблемы. В таких случаях структура задачи остается неустойчивой до тех пор, пока не будут приняты принципиальные решения по проекту. Поэтому беспочвенны попытки специалистов по теории решений находить решение задач проектирования путем однократного прохода по такой линейной последовательности:

- 1) выявление всех существенных переменных;
- 2) определение зависимостей между ними;
- 3) обеспечение оптимальных значений выходных параметров.

Уже сам процесс выявления переменных (куда входит определение целей и критериев для отбора хороших проектов), очевидно, представляет собой один из труднейших вопросов проектирования. Его трудность связана с тем, что цель проектирования — внедрить в существующий мир новые формы, которые тем или иным способом служили бы его совершенствованию. Однако суждение о том, в чем заключается совершенствование, на первых порах не может не быть произвольным и субъективным. Только после того, как исследованы возможности осуществления многих альтернативных изменений, можно с четкостью, достаточной для расчетов по методам "прозрачного ящика", определить цели, критерии и структуру задачи. Сейчас применение этих детерминистских методов ограничено такими задачами, которые сводятся к внесению в конструкцию мелких изменений, в то время как структура задачи остается практически неизменной по сравнению с предшествующей конструкцией. Конечно, к этому типу на практике относится значительная часть проектных работ, но в него не входят поисковые работы и создание конструкций на основе новых принципов. Важнейшим достоинством методов "прозрачного ящика" является то, что они позволяют автоматизировать, а следовательно, и ускорить детальные и многократно повторяющиеся операции проектирования. Если же их использовать для создания действительно новых конструкций, исчезает гибкость, необходимая для исследования неопределенной задачи и циклических петель.

### ***Линейность***

Можно ли рассчитывать, что не только типовые, но и поисковые задачи удастся решать линейными способами? Перспективными в этом отношении представляются следующие два направления.

1. Первое направление заключается в том, чтобы превратить разрабатываемое изделие в конструкцию поточного (или сборного) типа, т.е. сначала спроектировать взаимозаменяемые нормализованные узлы для каждой существенной функции. При этом все зависимости и расхождения между общей схемой изделия и конструкцией отдельных узлов сводятся к небольшому числу точно предсказуемых и неизменных правил соединения одного нормализованного узла с другим. В результате появляется возможность, используя методы "прозрачного ящика", создать большое количество новых изделий, не задумываясь над конструкцией самих узлов. Куда же в таком случае делась пресловутая цикличность? Она не исчезла. Она появляется на более высоком уровне при

разработке нормализованных узлов и правил их соединения. Эта нерасчленимая операция намного сложнее, чем разработка отдельных изделий, и в настоящее время в ее осуществлении, по-видимому, основную роль играет чудо "черного ящика" особо одаренных проектировщиков, в которых счастливо сочетаются надлежащий опыт, особенности нервной системы, заинтересованность, упорство, везение и способность апеллировать к глубинным слоям сознания. Поскольку для того, чтобы обеспечить приемлемый уровень нормализации, такой процесс мышления должен давать на выходе в высшей степени упорядоченные и системно организованные результаты, то нужно думать, что в основе этого метапроцесса проектирования лежат системные методы "прозрачного ящика". Разработка нормализованных узлов и правил их сборки, по-видимому, имеет нечто общее с предельно упорядоченным процессом, в результате которого осуществляется химический синтез нового материала. Пока же, однако, разработка нормализованных узлов остается загадкой "черного ящика".

2. Второе направление в обеспечении линейности проявляется в адаптивных стратегиях. Общим для этих методов является то, что разработка по методу "прозрачного ящика" предваряется или сопровождается проведением исследований на более высоком уровне общности. Задача этих исследований заключается в том, чтобы научными способами, а не путем "размышлений в кресле" расширить и предсказать "пространство маневрирования" проектировщика при решении наиболее важных подпроблем. Примером исследований подобного рода может служить испытание различных вариантов наборного телефонного кода до того, как приступить к конструированию автоматической телефонной станции. Исследование в этом случае можно рассматривать как этап прогнозирования, в котором методами "прозрачного ящика" определяется диапазон возможных выходов на каждом этапе до того, как этот этап осуществлен.

Само собой разумеется, что, если в принятой последовательности этапов, выполняемых методами "прозрачного ящика", обнаружится несоответствие между выходом какого-нибудь этапа и входом следующего этапа, неизбежно придется прибегнуть к цикличности и обратному прослеживанию зависимостей.

Смысл исследований заключается в том, чтобы заранее определить границы диапазона, в который будет попадать промежуточный выход, чтобы запланированная стратегия учитывала все случайности.

Ясно, что при обеспечении линейности вторым способом разработка ведется в обратном порядке по сравнению с обычным, т.е. от внутреннего к внешнему, а не от внешнего к внутреннему, как при обычной разработке, которая идет от описания основных характеристик изделия к детализировке его конструкции. Это позволяет обойти невыполнимое требование теоретиков проектирования, согласно которому прежде чем рассматривать детали следует определить цели и критерии. Введение дополнительного этапа прогнозирования дает возможность начать решение с наиболее достоверно и детально определенного конца задачи вместо того, чтобы, как обычно, ограничивать поле поиска мелкими изменениями, не выходящими за пределы одного конструктивного решения. За это преимущество, однако, приходится весьма недешево платить.



Поскольку исследования дают ответы на более широкий круг вопросов, чем требуется для решения данной задачи проектирования, и являются дополнением к последовательности строго необходимых операций проектирования, их можно отнести к статье сверхнормативных затрат. Однако затраты материальных средств и рабочего времени конструкторов в связи с проведением исследовательских работ компенсируются отчасти тем, что при этом ошибки исправляются с небольшими затратами на ранних стадиях, тогда как на более поздних стадиях их исправление было бы связано с большим материальным ущербом; частично они компенсируются также экономией времени, которое было бы затрачено на обратное прослеживание причинно-следственных связей; наконец, они отчасти компенсируются теми знаниями и навыками, которые при этом приобретаются и могут быть использованы не только при работе над данным проектом, но в значительной мере и при создании аналогичных конструкций в будущем. Когда при выполнении какого-то проекта недорогой ценой получают опережающую информацию, которую можно использовать в дальнейших разработках, это можно считать объективированным эквивалентом перенесения проектировщиком (рассматриваемым как "черный ящик") приобретенного опыта с одной задачи на другую. Исследовательская работа отличается от личного опыта более высокой точностью и меньшей зависимостью от общей формы прошлых конструкций.

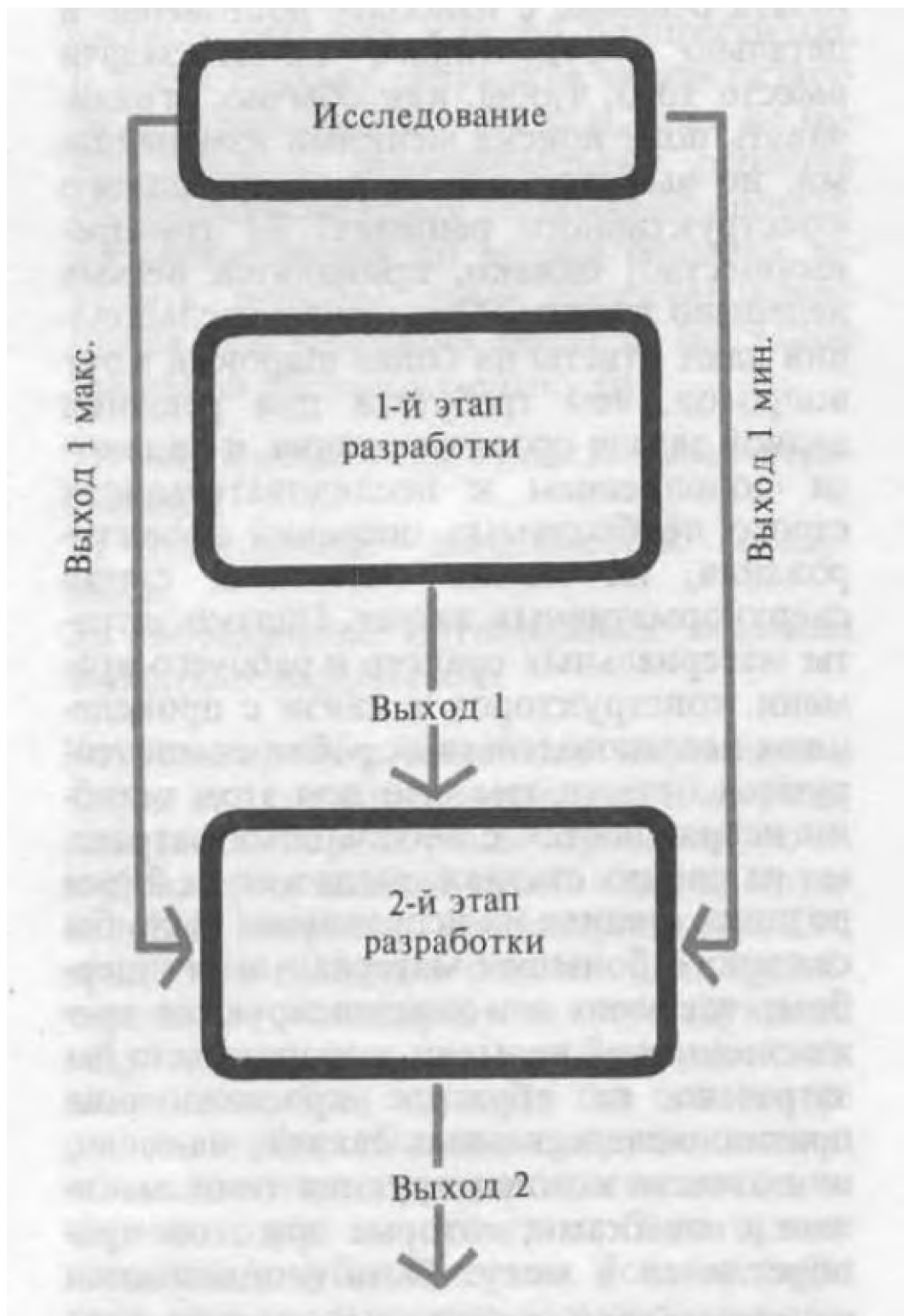


Рис. «Этап прогнозирования» или исследовательская деятельность для предсказания пределов промежуточных выходов, в линейной последовательности действий по разработке проекта.

Крупным недостатком литературы о системных и "творческих" методах проектирования в конце 50-х и начале 60-х годов было то, что в ней не описывались такого рода исследования. Без этих практически важных аспектов изучения и применения принципов прикладных наук изучение методики проекти-

рования так и не выйдет за пределы бесплодного мира "мыслей о мыслях". Только связав размышления о проектировании с измерением того, что должно являться целью этих размышлений, можно уберечь методологию проектирования от крайностей психологического мистицизма и логического детерминизма

#### **4.3 - Проектировщик как самоорганизующаяся система**

Методы "черного ящика" и "прозрачного ящика" позволяют расширить область поиска при решении задач проектирования. В методах "черного ящика" это достигается путем снятия ограничений, накладываемых на выходные реакции нервной системы проектировщика, или путем стимулирования ее к выработке более разнообразных выходных реакций. В методах "прозрачного ящика" выходная реакция нервной системы обобщается на языке внешних символов с таким расчетом, чтобы она включала альтернативы, одной из которых является замысел проектировщика. Основным недостатком в обоих этих случаях является то, что проектировщик вырабатывает множество неизученных альтернатив, слишком большое для того, чтобы его можно было исследовать медленным способом сознательного осмысливания. Он не может сделать выбор интуитивно, по принципу "черного ящика", так как при этом вновь вступят ограничения, налагаемые опытом прошлого, а он как раз стремится этого избежать; в то же время он лишен возможности ускорить и автоматизировать поиск с помощью вычислительной техники, так как для составления программы для ЭВМ необходимо заранее знать цели и критерии отбора, а они сами зависят от имеющихся вариантов. Столкнувшись с такой дилеммой, проектировщик вынужден либо а) отказаться от использования новых методов, либо б) произвольно (по принципу "черного ящика") выбирать цели для поиска на ЭВМ, либо же в) корпеть над невыполнимой задачей всестороннего оценивания каждого отдельного варианта.

Выходом из дилеммы, связанной с обилием нового материала и необходимостью сразу оценить его в целом, может явиться разделение работы проектировщика на две части:

- 1) осуществление поиска подходящей конструкции;
- 2) контроль и оценка схемы поиска (управление стратегией).

Это дает возможность вместо слепого перебора вариантов применить осознанный поиск и найти короткие пути через незнакомую территорию, используя как внешние критерии, так и результаты частичного поиска. Этот метод применим в том случае, если функция управления стратегией обеспечивает создание правильной модели как стратегии поиска, так и внешней ситуации, которой должна удовлетворять создаваемая конструкция (рис. ).

Эта модель "осознания себя + ситуации" (или "стратегии + цели") имеет своей целью предоставить каждому члену бригады проектировщиков возможность самому определить, насколько избранная методика поиска способна привести к приемлемому равновесию между новой конструкцией, ситуацией, на которую она окажет влияние, и стоимостью ее разработки. Для этого, во-первых, создается метаязык из терминов, достаточно широких по значению, чтобы с их помощью можно было описать зависимости между стратегией и проектной ситуацией, и, во-вторых, посредством этого метаязыка проводится

оценка модели, которая позволяет предсказывать вероятные результаты альтернативных стратегий, с тем чтобы можно было выбрать наиболее перспективную из них.

Единый язык, на котором возможно описание внешних целей и предполагаемых стратегий, включает дерево целей первого, второго и третьего порядков вместе с универсальными контрольными перечнями, описывающими различные фазы жизненного цикла инженерной разработки. Моделью для предсказания воздействия того или иного предложения конструктора на достижение целей вначале служит оценка предложений преподавателем, а затем, когда учащийся овладел методом, т.е. когда он научился предвидеть, к каким последствиям во внешнем мире приведут его предложения, он начинает пользоваться собственными оценками и соответственно изменять свою стратегию.

Менее индивидуальный пример самоконтроля при проектировании дает метод сетевого планирования и управления (метод "критического пути"). Сеть представляет собой графический язык, позволяющий описать внешнюю цель (сроки проектирования) и возможные пути ее достижения. Манипулируя этим описанием, можно определить минимальные сроки проектирования, достижимые при данных исходных допущениях. Слабым местом этого метода является то, что модель трудно изменять сообразно с информацией, появляющейся в процессе проектирования, а следовательно, этот метод не удовлетворяет одному из основных требований, предъявляемых к методам управления стратегией: он не обеспечивает возможности частых и радикальных изменений стратегии в случаях, когда обнаруживаются грубые ошибки в предсказаниях по модели. Ясно, что в более гибком методе средства изменения стратегии должны соотноситься с вероятностью того, что такое изменение потребуется. Отсутствие гибкости у метода сетевого планирования заставляет применять его для решения типовых, а не поисковых задач проектирования. В знакомых же проектных ситуациях его гибкость часто достаточна.

От метода управления стратегией в первую очередь требуется, чтобы он позволял связать результаты каждой части поиска с конечными целями, даже если, как чаще всего и бывает, эти цели еще не определились. Чтобы такая оценка частных частей стала возможной, нужно показать, насколько исход каждой частной ступени в стратегии проектирования соответствует (или не соответствует) желаемым результатам стратегии в целом. Для этого, например, можно оценить убытки от неверного предсказания результатов данной ступени и сравнить величину этих убытков с величиной затрат на выполнение работ по этой ступени. Сущность этого приема воплощена в лозунге: "Цена незнания должна быть больше цены приобретения знания!" Чтобы определить цену незнания, необходима модель, позволяющая хотя бы приближенно судить о том, как недостижение промежуточных целей повлияет на достижение конечных целей. Часто суждение по методу "черного ящика" позволяет сделать это. Можно логически показать, что организм, который способен на такое предсказание, должен быть способен также создать модель самого себя, хотя он и не сможет описать, каким образом была построена эта модель (Фогель и др.). Теперь ясно, что основная слабость любого метода проектирования, в том числе и описанных

здесь новых методов, заключается в трудности управления стратегией при решении нетривиальных задач проектирования, а также в тех случаях, когда над одним проектом работает много людей. Поэтому очевидно, что на следующем этапе предстоит создать надежные методы разработки стратегий для бригад проектировщиков и управления этими стратегиями.

### **Расчлененный процесс проектирования**

Описываемые здесь новые методы можно рассматривать как ступени на пути к гораздо более широкому процессу проектирования, который необходим для непрерывного развития искусственной среды. В этой главе сделана попытка набросать достаточно широкую — и в то же время достаточно свободную — картину этого расширенного процесса проектирования, включив в нее многие из описываемых в ч. II новых методов и показав их связь друг с другом, а также с тем, что было, и с тем, что, по-видимому, идет на смену. Основной вывод этой главы заключается в том, что наблюдаемая ныне картина есть обескураживающий результат распада традиционного метода проектирования на куски. Задача теперь состоит в воссоединении этих кусков в новый связный процесс, который был бы эффективным на любом уровне общности и детализации. Приведенная ниже картина наблюдаемой в настоящее время фрагментации мыслительного процесса в голове проектировщика дает представление о том, что требуется для завершения этой трансформации.

Как уже отмечалось в начале гл. 1, все разработчики новых методов сходятся на том, что масштабный чертеж уже не может служить основным инструментом проектирования. Это, как мы видели в гл. 3, объясняется тем, что новаторская деятельность на уровне систем предполагает свободу радикального изменения не только компонентов, из которых состоит изделие, но и видов изделий, из которых складывается новая система, и организации социальной сферы, которой призвана служить новая система. Второй пункт, по которому между специалистами по методологии проектирования также существует единство мнений, заключается в том, что те формы мыслительной деятельности, которые проектировщики привыкли считать своей прерогативой, теперь должны быть объективированы, с тем чтобы большое число людей (включая потребителей), чьи знания имеют отношение к проектированию на уровне систем, могли предложить свои идеи на ранних стадиях разработки и участвовать в принятии принципиальных решений. Объективирование мышления проектировщика в не меньшей степени нужно и для автоматизации процесса проектирования, т.е. для ускорения с помощью цифровых ЭВМ тех этапов процесса проектирования, для которых решение мыслительных задач производится настолько осознанно, что этот процесс можно представить в виде машинной программы.

Пожалуй, самой характерной отличительной чертой книг и статей о методах проектирования является обилие всевозможных блок-схем, матриц и графов, которые в большей или меньшей степени напоминают схемы и расчеты, используемые при составлении программ для ЭВМ. Такое графическое отображение связей можно рассматривать как попытку найти что-то более субстанциональное, чем мысль, но менее детализованное, чем масштабный чертеж, для отображения сложностей проектирования на уровне систем; оно свидетельст-

вует о поиске средств, которые обеспечивали бы проектировщикам систем достаточно просторное "поле представлений".

Эта ключевая идея построения сетей в одно и то же время полезна и вредна. Она полезна, когда входящие в нее элементы и отношения можно соотнести с физическими сущностями, которые могут быть измерены или реализованы. Однако при этом легко забывают о реальных отношениях сети к объективному миру (существующему или возможному) и часто впадают в заблуждение, будто все, что представлено в виде сети, может быть осуществлено на практике. Самое трудное, это отличить реалистичную сеть от нереалистичной и решить, какие переменные или категории должны быть включены в нее. Пока это еще представляет собой умение, которое приобретается на практике, но которому трудно или невозможно научить.

В целом процесс проектирования на уровне систем можно сравнить с поиском клада. Новая задача подобна неизведанной территории, протяженность которой неизвестна. Кладоискатель исследует ее с помощью сети маршрутов. Эта сеть не существует до поиска, кладоискатель должен "изобрести" ее либо до того, как отправиться в путь, либо в ходе самого поиска. Методы проектирования подобны приборам для ориентировки и топографическим схемам, которые он использует для фиксирования своего маршрута, чтобы сохранять какой-то контроль за своим продвижением. Если он только не совершеннейший неудачник и тупица, он отыщет клад задолго до того, как обследует каждую пядь территории. Его основная цель при фиксировании маршрута заключается в том, чтобы возможно полнее использовать каждый намек, каждый источник частичных сведений, который ему удастся найти, с тем чтобы добраться до клада, не потратив всю жизнь на его отыскание. Проектирование, как и прокладка маршрута, было бы "прямолинейным" процессом, если бы нам с самого начала не приходилось иметь дело с неполными и ненадежными данными. Наша аналогия, однако, перестает быть верной, как только мы переходим к рассмотрению природы обследуемого пространства. Область, в которой действует проектировщик, в отличие от местности, по которой движется кладоискатель, 'неопределенна и существует лишь в воображении; она меняет свою форму в зависимости от тех допущений, которые вынужден делать проектировщик, а также в зависимости от того, насколько другие участники процесса проявляют готовность осуществить выдвигаемые им планы.

Прочитав обзор новых методов, читатель вправе задать вопрос: а есть ли какая-нибудь связь между интуитивными методами "черного ящика", с одной стороны, и логическими методами "прозрачного ящика" — с другой? В связи с этим возникает также вопрос, следует ли множество методов считать альтернативными способами проектирования или отдельными элементами, которые можно объединить в единой стратегии проектирования. На оба эти вопроса можно дать простой ответ: ни один из предложенных до сих пор методов проектирования не является столь законченным, каким он кажется на первый взгляд, и при решении любой задачи проектирования необходимо определенное сочетание логики и интуиции. Пути такого сочетания интуитивного с рациональным не установлены; пожалуй, их и невозможно установить в общем виде,

в отрыве от конкретной задачи и конкретного человека, так как они зависят от того, какое количество объективной информации имеется в распоряжении проектировщика, а также от его квалификации и опыта.

Теперь, когда мы установили, что бригада проектировщиков должна сама разработать свою стратегию, используя при этом старые и новые методы в тех сочетаниях, которые кажутся уместными в данной конкретной ситуации, остается выяснить, как это осуществляется. Существует ли какая-нибудь общая теория или свод правил, которые помогли бы в отборе и объединении методов проектирования? Ответ здесь простой: нет, не существует. Пока что мы слишком мало знаем о поведении проектировщиков и о решении задач проектирования, чтобы пытаться дать рекомендации, которые можно было бы проверить путем наблюдений и экспериментов. Пока мы можем заниматься лишь классификацией и общими рассуждениями в надежде, что это позволит нам потом лучше понять, почему так трудно разработать и объяснить эффективную стратегию проектирования, в которой сочетались бы логические и интуитивные методы.

Следует отметить, что не все разделяют высказанное мнение о невозможности в наше время рационально объяснить процесс проектирования. Арчер в своей диссертации о структуре процесса проектирования дает единую логическую картину, которая поддается объяснению во всех ее точках, коль скоро ее главные герои изложили всю сумму микросуждений, на которых основывается процесс. Как об этом свидетельствует излагаемый ниже гораздо более широкий взгляд на проектирование, есть основания усомниться в осуществимости предложения Арчера, чтобы использование интуиции ограничивалось лишь самой начальной стадией работ, учитывая всю неопределенность, которая предшествует новаторской деятельности и сопровождает ее. В то же время существует множество четко определенных задач проектирования, при решении которых можно с успехом применить логическую методику Арчера.

### **Проектирование как трехступенчатый процесс**

Одно из простейших и наиболее распространенных наблюдений относительно проектирования, на котором сходятся многие авторы, состоит в том, что проектирование включает в себя три основные стадии: анализ, синтез и оценку. Простыми словами эти три стадии можно определить соответственно как "расчленение задачи на части", "соединение частей по-новому" и "изучение последствий от практического внедрения нового устройства". Большинство специалистов по теории проектирования сходятся на том, что обычно эти стадии повторяются многократно, а некоторые [6, 33] считают, что каждый следующий цикл отличается от предыдущего большей детализацией и меньшей общностью. Три описанные ниже стадии не всегда образуют единую универсальную стратегию, состоящую из еще более дробных ступеней. Они имеют более элементарную природу — это лишь категории, которые позволяют нам обсуждать многие "открытые концы" современной теории проектирования, хотя бы на том неточном описательном уровне, выше которого мы не можем подняться при нынешнем сочетании частичного знания с частичным неведением.

Эти три ступени можно назвать дивергенцией, трансформацией и конвер-

генцией, причем названия эти в большей мере соответствуют новым задачам, связанным с проектированием систем, чем традиционным методам архитектурного проектирования и технического конструирования. Каким бы нелепым и бессмысленным ни казалось профессиональному проектировщику раздельное рассмотрение этих трех ступеней, оно, несомненно, является необходимой предпосылкой для внесения методологических изменений на всех стадиях и должно предшествовать их воссоединению в единый процесс, пригодный для проектирования на уровне систем.

### **Дивергенция**

Этот термин обозначает расширение границ проектной ситуации с целью обеспечения достаточно обширного — и достаточно плодотворного — пространства для поиска решения. Дивергентный поиск характеризуется следующими основными чертами:

а) Цели неустойчивы и условны.  
б) Границы задачи неустойчивы и неопределенны.  
в) Оценка откладывается на будущее: все, что может иметь отношение к решению задачи, принимается во внимание, как бы сильно одно положение ни противоречило другому.

г) Техническое задание, полученное от заказчика, принимается за отправную точку исследований, но при этом считается, что это задание может подвергаться изменениям и развитию в ходе дивергентного поиска, а может быть, и на более поздних ступенях (однако не без согласия заказчика).

д) Задача проектировщика заключается в сознательном увеличении своей неуверенности, в освобождении от заранее заданных решений, в изменении стратегии мыслительной деятельности на основе массива данных, которые могут иметь отношение к решению задачи.

е) Одна из целей исследований на этой стадии заключается в том, чтобы изучить реакцию заказчиков, потребителей, рынка, производства и т.п. на смещение целей и границ задачи в разных направлениях и в различном объеме. Направление исследования этой реакции во многом зависит от того, какие именно неувязки и противоречия обнаруживаются в сложившейся ситуации.

Дивергентный поиск можно рассматривать как проверку на устойчивость всего, что имеет отношение к решению задачи, как попытку определить, что в иерархии социальных ценностей, систем, изделий и деталей (а также в умах тех, кто будет принимать ответственные решения) подвержено изменению, а что можно считать неподвижными точками отсчета. Стабильные и нестабильные точки одинаково часто могут встречаться как на низших уровнях, соответствующих изделиям и их составным частям, так и на высших уровнях коллективных целей и индивидуальных оценочных суждений; на этой ступени нельзя ожидать появления упорядоченной картины. Проектировщик должен по возможности воздерживаться от попыток втиснуть свои выводы в незрелую схему. Принятие решений нужно отложить до следующей стадии, когда проектировщик будет достаточно много знать обо всем, что связано со стоящей перед ним задачей, и на основе этих знаний сумеет предвидеть вероятные последствия различных способов организации данных.



Необходимо отметить, что работа на этой стадии включает в себя как логические, так и интуитивные действия и требует "больше беготни, чем размышлений в кресле". Новички в области методологии проектирования обычно впадают в одну и ту же ошибку: на этой стадии они слишком много занимаются спекулятивными размышлениями и не осознают необходимости сбора фактов прежде, чем можно будет принимать важные решения, и прежде, чем им самим станет ясно, чего они хотят. Навыками работы на этой предпроектной стадии гораздо легче овладевают лица, имеющие опыт в таких областях, как журналистика, научно-исследовательская работа, статистический анализ данных, чем люди, получившие специальную подготовку по проектным специальностям, - инженеры, архитекторы, художники, конструкторы, градостроители и пр. Проектировщикам часто приходится многому разучиваться, чтобы приобрести свободу, гибкость и широту взглядов, которые нужны до того, как будут приняты проектные решения, и до того, как станет целесообразно приниматься за что-либо похожее на окончательную проработку конструкции.

Затраты на такого рода предпроектную деятельность легко могут выйти из-под контроля. Чтобы этого не случилось, нужно достаточно реально определить размеры убытков, к которым привел бы отказ от сбора информации. Кроме того, определенную часть связанных с поиском затрат следует направить на управление этим поиском, а не на его выполнение. Например, лучше убедиться, что информация берется из надежных и подходящих источников, чем черпать данные откуда попало в надежде, что попадется что-нибудь ценное, или просто потому, что исследователь случайно знает о существовании данного источника информации. Основной ошибкой на этой стадии является неправильная постановка вопросов. Постановку вопросов и принятие решений о том, куда обратиться за ответом и насколько грубыми или точными должны быть эти ответы, следует предоставить самым опытным и разумным специалистам, которых удастся привлечь к этой работе.

Вкратце можно сказать, что цель дивергентного поиска заключается в том, чтобы перестроить или разрушить первоначальный вариант технического задания, выявив при этом те аспекты ситуации проектирования, которые позволяют получить ценные и осуществимые изменения. Проводить дивергентный поиск - это значит также с минимальными затратами и в кратчайшие сроки приобретать новый опыт, достаточный для того, чтобы противодействовать всем ошибочным установкам, из которых вначале исходили бригада проектировщиков и ее заказчики.

### **Трансформация**

Это стадия создания принципов и концепций, пора высокого творчества, вдохновенных догадок и озарений — всего, что составляет радость творческого труда при проектировании. Это же и самая ответственная стадия, когда совершаются крупные ошибки, когда могут восторжествовать необузданный оптимизм или узость мышления, когда необходимы большой опыт и здравомыслие, чтобы не огорчить мир дорогостоящими и бесполезными — или даже вредными — результатами больших, но неверно направленных затрат человеческого труда. Это стадия, когда суждения о ценностях и о технических возможностях

объединяются в решения, которые должны отражать реальные политические, экономические и эксплуатационные аспекты ситуации проектирования. Из всего этого возникает общая концептуальная схема проектируемого объекта, которая кажется удачной, хотя это и нельзя доказать. Как указывал Мангейм, оптимального решения достичь невозможно — можно лишь провести оптимальный поиск. Невозможно обрести полную уверенность в том, что то, что делается, в конечном итоге окажется "наилучшим". По утверждению Вира, только ретроспективно можно убедиться в том, что поиск (но не цель) оправдал себя.

Многие из методов включают в себя на разных ступенях некоторую долю трансформации. Для трансформации (которая может произойти неожиданно в любой момент, но которую нужно применять только после того, как дивергенция в значительной мере уже завершена) характерны следующие основные черты:

а) Основная цель заключается в том, чтобы на результаты дивергентного поиска наложить некоторую концептуальную схему, достаточно точную для конвергенции к единому проекту, а затем утвердить этот проект и закрепить его во всех деталях. Избранная схема должна отражать все реалии конкретной ситуации. Создание концептуальной схемы в данном случае представляет собой творческий акт преобразования сложной за дачи в простую путем изменения ее формы и принятия решения о том, что необходимо подчеркнуть, а чем можно пренебречь.

б) На этой ступени фиксируются цели, технические задания и границы задачи, выявляются важнейшие переменные, распознаются ограничения; здесь используются предоставляющиеся возможности и выносятся оценочные суждения.

в) На этой же ступени задача расчленяется на подзадачи, причем считается, что все подзадачи можно решать параллельно или последовательно и в значительной мере независимо друг от друга. Инструментом на этой важнейшей стадии служат специальные слова и символы, придуманные для обозначения частей задачи. Из них составляется "язык за дачи", который кладется в основу дальнейшей работы.

г) Важнейшими условиями успешной трансформации являются, во-первых, свобода изменения подцелей, позволяющая избежать серьезных потерь качества, и, во-вторых, быстрота оценки возможностей и последствий реализации любой конкретной последовательности подцелей. Это второе условие почти невыполнимо, так как изменение подцелей означает переход к принципиально иному проекту. Такое изменение может вызвать фатальные задержки обратной связи от практического опыта, обеспечивающей поступление информации, необходимой для обоснованного выбора подцелей. На традиционном уровне проектирования изделий быстрая обратная связь обычно обеспечивается в значительной мере за счет опыта главного конструктора, а также за счет скорости и надежности, с которой он умеет оценить "на обороте старого конверта" различные альтернативные варианты конструкции. На уровне систем изменение подцелей требует испытаний альтернативных изделий и альтернативных деталей, поэтому здесь осуществимость проекта уже не удастся прогнозировать ис-

ходя из имеющегося опыта или на основании эскиза. В этом случае основные надежды возлагаются на научную оценку. Как мы видели в гл. 4, одно хорошо проведенное испытание или один "акт прогнозирования" уже может дать информацию о возможностях осуществления целого ряда альтернативных конструкций изделия, а это расширяет "пространство маневрирования" проектировщика при трансформации всей системы.

д) На этой стадии ярче всего проявляется личность проектировщика. Вообще говоря, чем более контрастна сложившаяся у индивидуума мысленная картина мира — существующего или потенциального, — тем большую нетерпимость он будет проявлять ко всем трансформациям, кроме той, которая представляется ему правильной. Вот здесь-то и может дать сбой "коллегиальное проектирование". Ставить на голосование можно только ту или иную трансформацию целиком, без "перемешивания" соперничающих вариантов. Обычно можно предложить несколько трансформаций, каждая из которых обеспечивает достижение приемлемого (хотя и каждый раз иного) результата.

При трансформации структуры системных задач можно пользоваться как языковыми, так и математическими методами, например методом "Классификация проектной информации" (разд. 11.8) или методом "Определение компонентов по Александеру"; можно также прибегнуть к сознательному стимулированию "скачков интуиции" и "озарений", как в методе "Синектика".

### **Конвергенция**

Последняя из трех стадий охватывает то, что при традиционном подходе занимало почти все время проектирования, но что по мере автоматизации проектирования постепенно стали игнорировать. Эта стадия наступает тогда, когда задача определена, переменные найдены, а цели установлены. Теперь проектировщику необходимо шаг за шагом разрешать второстепенные противоречия до тех пор, пока из многих возможных альтернативных конструкций не останется одна - окончательное решение, которое и получит "путевку в жизнь".

Основные характеристики конвергенции таковы:

а) Настойчивость, жесткость мышления и методики здесь являются достоинством; с лабильностью и неопределенностью надо бороться. Основная цель на этом этапе - как можно быстрее уменьшить неопределенность, поэтому большую помощь здесь оказывает все, что способствует исключению альтернатив, не заслуживающих рассмотрения. Главным же врагом является быстрый рост затрат при все более детальном анализе задачи по мере приближения к точке конвергенции. Самое главное решение, которое здесь необходимо принять, — это установить порядок принятия решений, уменьшающих разнообразие. Насколько возможно, порядок этот должен быть обратным порядку их логической зависимости, что приводит к линейной стратегии без цикличности. Это идеальный вариант многих готовых стратегий.

б) Подводным камнем при конвергенции является, несомненно, тот факт, что некоторые подзадачи неожиданно приобретают особую важность, так как они не могут быть разрешены без изменения ранее принятых решений, что приводит к цикличности. Цель "магической" стадии трансформации заключалась в том, чтобы тем или иным способом придать задаче форму, при которой

подзадачи предвосхищались бы или исключались действиями на более общем уровне.

в) Модели, используемые для представления поля оставшихся альтернатив, в ходе конвергенции должны становиться менее абстрактными и более детализированными. При проектировании систем ни масштабный чертеж, ни прототип в натуральную величину не обеспечивают достаточной общности ни для одного этапа конвергенции, кроме самого последнего. На более ранних этапах конвергенции пригодны математические модели и абстрактные аналогии, в которых отражается сумма имеющихся знаний в области прикладных наук. Поскольку они хорошо известны и весьма многочисленны, их описание в ч. II не приводится.

г) Как мы видели в гл. 4, для осуществления конвергенции возможны две диаметрально противоположные стратегии. Одна из них направлена от внешнего к внутреннему. Этой стратегией пользуется, например, архитектор, когда он, исходя из внешнего вида здания, определяет планировку помещений в нем. Вторая стратегия направлена от внутреннего к внешнему, и ею тоже может воспользоваться архитектор, если он исходит из функций или планировки отдельных помещений и лишь на этой основе приходит к решению о внешнем виде здания. По-видимому, опытный проектировщик чаще всего будет одновременно идти с обоих концов, ставя перед собой вопросы в точках встречи этих двух направлений, где часто возникают неувязки. Многие из новых методов проектирования, например метод "Стратегия коллективной разработки гибких архитектурных проектов", построены целиком на стратегии, направленной от внутреннего к внешнему, и предполагают независимое решение подзадач без учета их последующего сочетания в единое целое. Сторонники этой "атомарной" стратегии исходят из того, что решение подзадач не зависит от способа их объединения.

Подводя итог, можно сказать, что цель конвергенции — сократить поле возможных вариантов до единственного избранного проекта с минимальными затратами времени и средств и без необходимости совершать непредвиденные отступления. Это единственный аспект проектирования, который, видимо, до конца поддается логическому анализу и который — по крайней мере в некоторых случаях — может быть целиком выполнен вычислительной машиной. Правда, здесь остаются некоторые сомнения. Вкратце они сводятся к тому, что логическое описание путей, которые в прошлом привели к нужной цели, может оказаться несостоятельным при следующем заходе.

## **Критерии управления проектными работами**

Приведенный ниже список критериев взят из длинного перечня целей проектирования и совершаемых при проектировании ошибок, упоминаемых различными теоретиками проектирования. Сокращение этого перечня до пяти критериев, указываемых ниже, в значительной мере основано на субъективных оценках автора, с которыми многие могут не согласиться.

### *1. Выявление и пересмотр важнейших решений*

Каждое решение, которое может принести значительные убытки, должно быть выявлено как можно раньше. Такие решения на начальных стадиях следует принимать лишь условно и предусматривать возможности их пересмотра в случае, если в дальнейшем обнаружится, что они вступают в противоречие с надежно установленными фактами или с обоснованными суждениями специалистов. К числу важнейших решений относятся исходные допущения, цели, выбор моделей, выбор стратегии и метод изменения стратегии.

### *2. Соотношение затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с убытками от принятия неверного решения*

Как уже говорилось, убытки от незнания должны превышать затраты на дорогостоящие усилия проектировщика при поиске ответа на тот или иной вопрос. При оценке предложения о проведении какой-либо работы нужно прежде всего выяснить, на какие вопросы она даст ответ.

### *3. Распределение заданий в соответствии с возможностями исполнителей*

Каждому члену бригады проектировщиков нужно поручать такие задания, с которыми он способен справиться, в которых он разбирается и в выполнении которых заинтересован. Это требование гораздо труднее выполнить в бригадах, состоящих из представителей разных специальностей и работающих над новаторским проектом, чем в группах традиционных проектировщиков одинаковой специализации, занятых решением задачи знакомого типа.

### *4. Отыскание полезных источников информации*

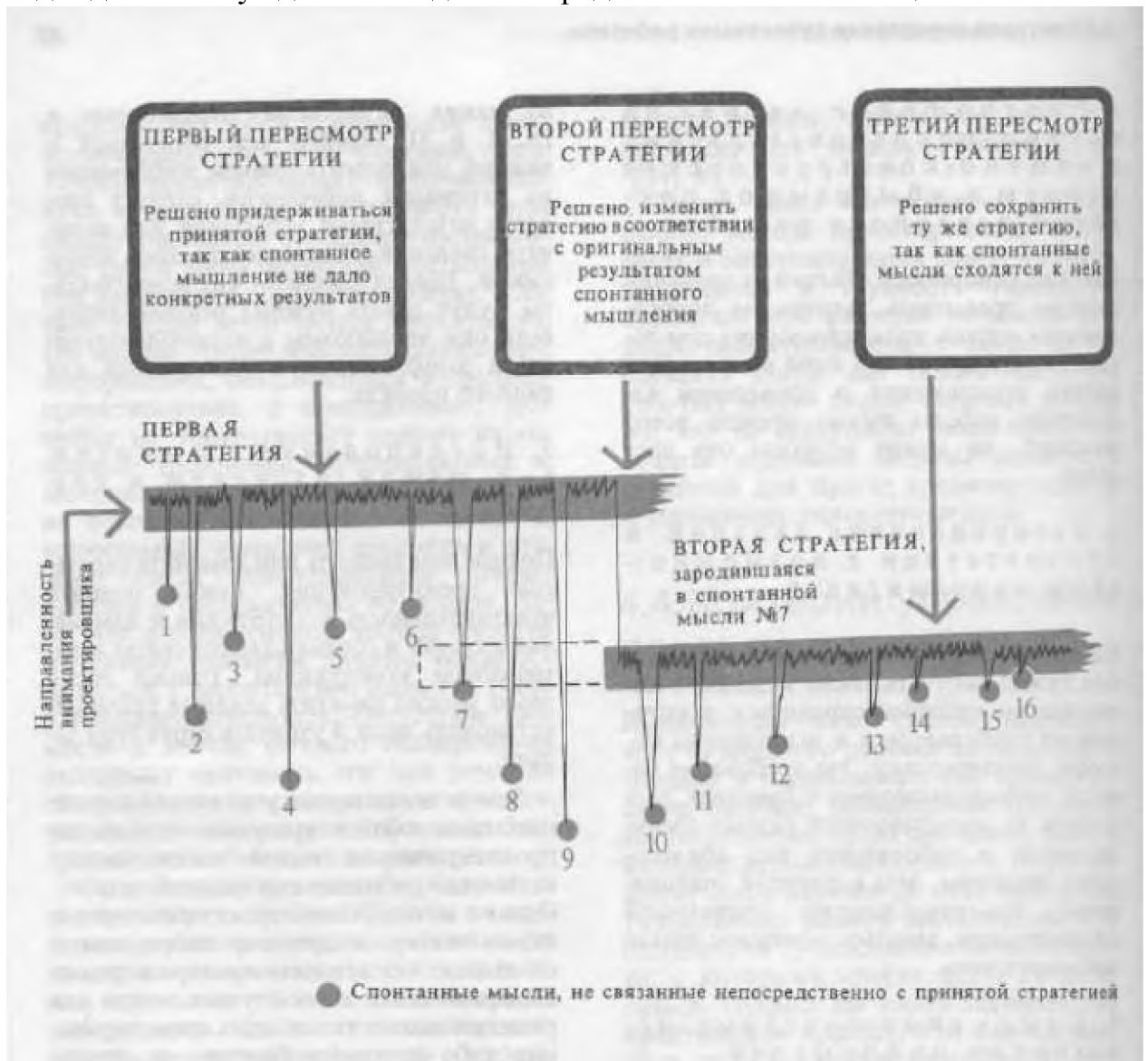
Информацию следует искать во всех основных источниках стабильности и нестабильности, с которыми приходится считаться при проектировании (многие из таких источников перечислены выше). Прежде чем обратиться к важной или дорогостоящей информации из различных источников, следует провести независимые испытания или получить сведения о надежности этих источников. Нельзя ожидать, что консультанты будут давать нужные рекомендации, если они не знакомы с взаимодействиями и конфликтами, характерными для данного проекта.

### *5. Исследование взаимосвязей между изделием и средой*

Прежде чем выбрать или изменить стратегию проектирования, нужно оценить чувствительность конструкции к изменениям среды и соответственно среды к изменениям конструкции. Только после этого можно наметить главные решения, установить цели и уточнить структуру задачи.

Эти пять критериев управления стратегией сами собой подразумеваются, когда проектировщики одной специальности совместно работают над типовой задачей. Однако из опубликованных описаний методологии проектирования

напрашивается вывод, что эти пять критериев редко выдерживаются в тех случаях, когда для решения новых типов задач проектирования либо создаются бригады из специалистов разного профиля, не обладающих опытом проектирования, либо привлекаются опытные проектировщики, которые в ходе работы над задачей вынуждены выходить за пределы своей компетенции.



## **Выбор стратегий и методов**

### **Новые методы проектирования в действии.**

Ниже описаны методы, заимствованных из литературы или взятых из личного опыта авторов. Их отбор производился на основе следующих критериев.

1. Эффективность. Метод отбирался для включения в книгу, если можно было рассчитывать, что с его помощью проектировщики и организаторы смогут получить более ценные результаты, чем на основе традиционных методов и здравого смысла. При этом предполагалось, что проектировщики сталкиваются с непривычной проблемой, в той или иной мере требующей новаторства.

2. Соответствие. Методы, относящиеся к одному из трех видов деятельности проектировщика (дивергенции, трансформации, конвергенции), включались в книгу даже в тех случаях, когда их обычно не принято считать методами собственно проектирования.

3. Удобство. В УМК включались методы, описание которых трудно найти в литературе, а также изложенные недостаточно понятно или опубликованные в редких изданиях.

4. Известность. Многие методы, достаточно эффективные и соответствующие задачам проектирования, не были включены в книгу, если автор сам недостаточно был знаком с ними, в то время как их описание легко найти в распространенных учебниках. Таковы, например методы исследования операций, исследования рынка, научно-технического прогнозирования, организации производства, применения вычислительной техники, статистических решений и моделирования.

5. Критика. Некоторые хорошо известные методы включены потому, что они уязвимы для критики, о чем энтузиасты новых методов проектирования не всегда достаточно осведомлены. Каждый из этих методов на первый взгляд позволяет преодолеть все трудности проектирования, но на самом деле имеет ряд серьезных недостатков.

# Метод

# Цель

7.1. Упорядоченный поиск (применение теории решений)

Решить задачи проектирования с логической достоверностью

7.2. Стоимостный анализ

Ускорить поиск путей снижения себестоимости изделия в проектных и производственных организациях

7.3. Системотехника

Добиться внутренней совместности между элементами системы и внешней совместности между системой и окружающей средой

7.4. Проектирование систем человек — машина

Добиться внутренней согласованности между человеческим и машинным компонентами в системе и внешней согласованности между системой и средой, в которой она функционирует

7.5. Поиск границ

Найти пределы, в которых лежат приемлемые решения

7.6. Кумулятивная стратегия Лейбаса

Увеличить затраты усилий проектировщиков на *анализ и оценку* (оба эти процесса носят кумулятивный и конвергентный характер) и уменьшить затраты некумулятивных усилий на *синтез* решений, которые могут оказаться непригодными, т. е. исключить необходимость разрабатывать плохие проекты, чтобы научиться создавать хорошие

7.7. Стратегия коллективной разработки гибких архитектурных проектов (CASA)

Дать возможность каждому, кто связан с проектируемым зданием, влиять на решения, от которых зависят как "адаптивность" здания, так и взаимосвязь узла его частей и деталей



## **Выбор стратегий и методов**

Каким образом проектировщики и члены групп планирования могут распознать методы, отвечающие стоящим перед ними задачам, и избежать применения непригодных методов? Какие особенности того или иного метода проектирования делают его пригодным в одной ситуации и неподходящим в другой? Обязательно ли испробовать метод или хотя бы понять его, чтобы судить о том, будет ли его применение в данных условиях плодотворным или окажется пустой тратой времени? Не ответив на эти вопросы, невозможно найти простой и быстрый способ отбора из всего множества методов, описанных в этой книге, тех, которые соответствуют реальной ситуации. В этой главе предпринимается попытка ответить на эти вопросы путем классификации новых методов и обсудить пути их объединения в "стратегию проектирования".

### **Стратегии проектирования**

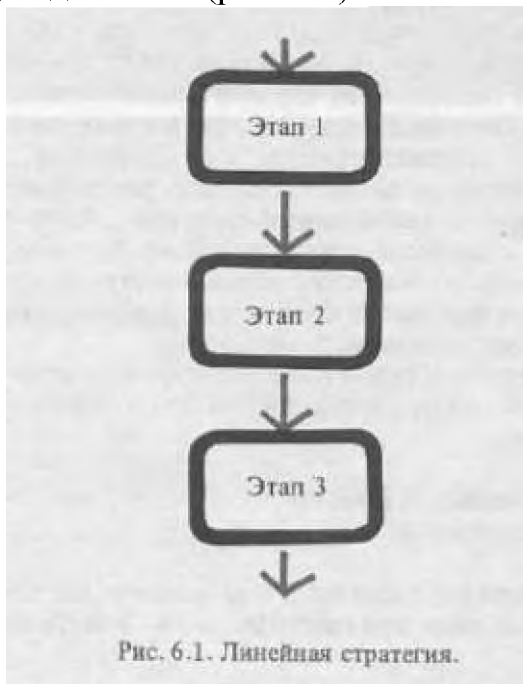
Термин "стратегия проектирования" применяется здесь в значении определенной последовательности действий, выбираемой проектировщиком или группой планирования с целью преобразования исходного технического задания в готовый проект, т.е. как совокупность традиционных приемов технического и архитектурного конструирования, описанных выше. Решение о том, какие действия должны быть включены в стратегию проектирования, может быть принято с самого начала, или же можно менять стратегии в зависимости от результатов, полученных после выполнения предыдущих действий. Содержание каждого "действия проектировщика" определяется самим проектировщиком; некоторые действия могут быть основаны на новых методах типа описанных в этой книге; другие могут базироваться на традиционных приемах, таких как изготовление эскизов и масштабных чертежей; наконец, третьи будут представлять собой новые процедуры, самостоятельно изобретенные проектировщиком. Если метод проектирования, взятый сам по себе, позволяет решить задачу проектирования, он называется стратегией; однако в большинстве случаев новые методы не дают такой возможности, поэтому они здесь рассматриваются как "действия", из которых можно составить различные варианты законченных стратегий. Аналогия с военной стратегией была бы ошибочной: лучше всего понимать стратегию проектирования просто как намеченную последовательность методов.

Целесообразно классифицировать стратегии проектирования по двум показателям:

- а) степень заданности;
- б) схема поиска.

Заранее заданные, или готовые, стратегии жестко зафиксированы заранее, подобно программам ЭВМ. Они больше подходят для проектирования в знакомых ситуациях, чем для новаторской деятельности, т.е. для объединения или модернизации существующих конструкций, а не для изобретения новых изделий. Что бы ни говорили проектировщики-практики, значительная доля работы по проектированию совершается по предсказуемой схеме и, следовательно, может быть выполнена на ЭВМ. В идеале заданная стратегия должна быть линейной, т.е. состоять из цепочки последовательных действий, в которой каждое

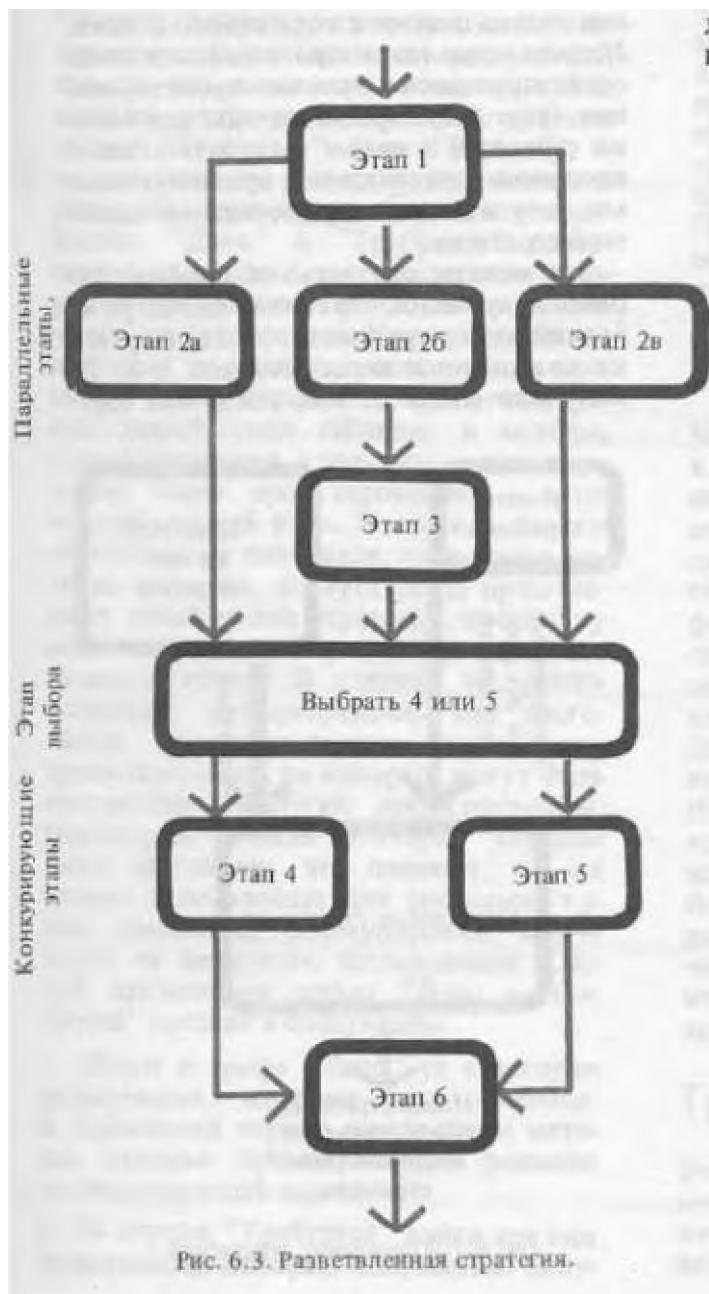
действие зависит от исхода предыдущего, но не зависит от результатов последующих действий (рис. 6.1).



Если после получения результатов на одной из стадий приходится возвращаться к одному из предыдущих этапов, стратегия становится циклической. Встречаются случаи, когда две или несколько петель обратной связи охватывают друг друга, как показано на рис. 6.2.



Такая схема с петлями характерна для многих программ для ЭВМ. Она напоминает движение в игре "вверх и вниз", где не предусмотрены премии (продвижение фишки ближе к финишу), а есть только штрафы (возврат в сторону старта). Самой страшной опасностью для проектировщика в этом случае становится бесконечная петля, или "порочный круг", из которого не удастся выбраться иначе, как изменив структуру задачи. Когда действия проектировщика не зависят одно от другого, может иметь место разветвленная стратегия (рис. 6.3).



В нее могут входить параллельные этапы, очень выгодные в том отношении, что позволяют увеличить количество людей, одновременно работающих над задачей, и конкурирующие этапы, которые позволяют в определенной степени видоизменять стратегию в соответствии с исходом предыдущих этапов.

Адаптивные стратегии (рис. 6.4) отличаются тем, что в них с самого начала определяется только первое действие. В дальнейшем выбор каждого действия зависит от результатов предшествующего действия. В принципе это самая разумная стратегия, поскольку схема поиска всегда определяется на основе наиболее полной информации. Ее недостаток состоит в невозможности предвидеть и контролировать затраты и сроки выполнения проекта. Многие предпочитают применять адаптивную стратегию, поскольку она позволяет полностью использовать способность человека (и животных) "импульсивно" совершать правильные действия. Надежным, но ограниченным вариантом адаптивного поиска является стратегия приращений (рис. 6.5). Эта осторожная стратегия составляет основу традиционного проектирования, особенно в тех отраслях про-

мышленности, которые базируются на ремесленном производстве; кроме того, на ней основаны многие методы автоматической оптимизации.

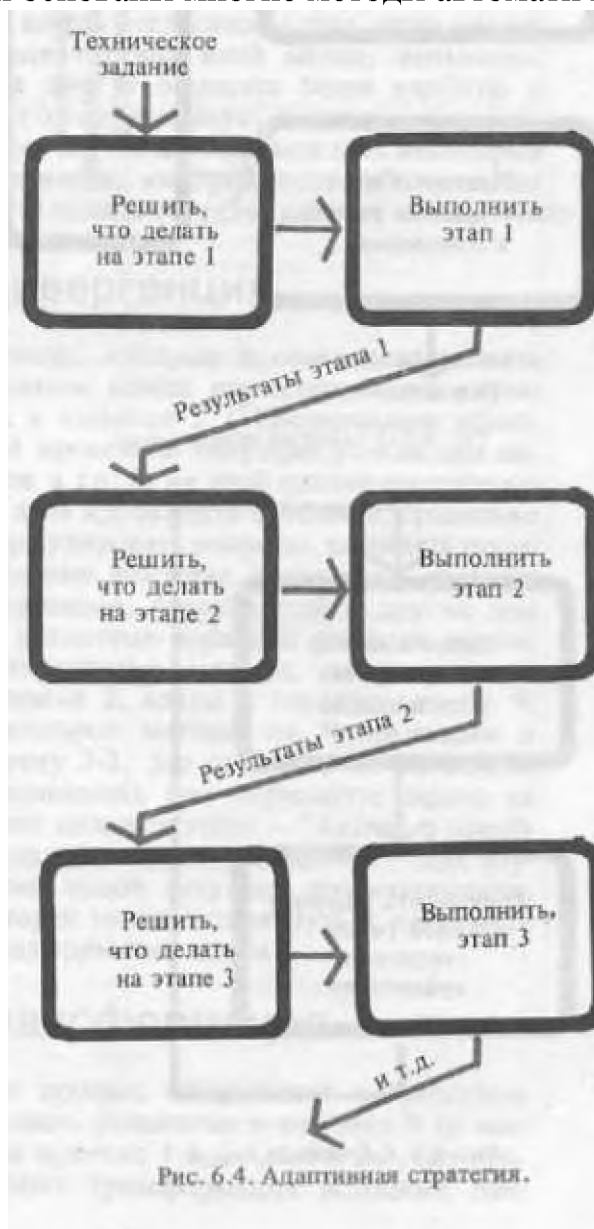
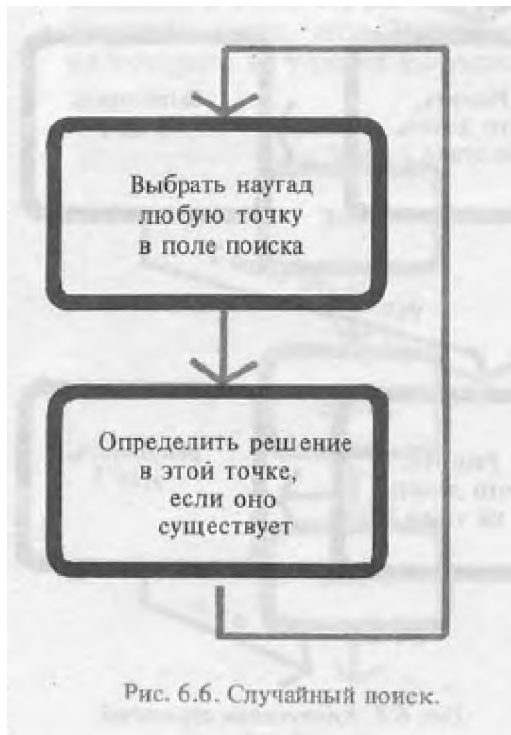


Рис. 6.4. Адаптивная стратегия.



Изменение путем приращений, т.е. последовательное изменение по одной переменной за каждый шаг, описано ниже. При поиске методом приращений имеется риск пропустить хорошие решения, когда приращения слишком велики, и не охватить всего поля поиска, когда они слишком малы.

Случайный поиск, отличающийся абсолютным отсутствием плана (рис. 6.6), в некоторых случаях оказывается наилучшим методом. Эта на первый взгляд неразумная стратегия пригодна тогда, когда необходимо найти множество отправных точек для независимого поиска в широком поле неопределенностей. При выборе каждого этапа сознательно не учитываются исходы остальных этапов, что придает поиску предельно непредубежденный характер. Примером может служить поиск способов применения нового синтетического материала. Интересно отметить, что в большинстве попыток создания "машинного интеллекта" важная роль отводится "генератору случайных чисел".



Применение адаптивных стратегий и стратегий приращений преследует цель обеспечить ту или иную степень изменения схемы поиска в ходе самого поиска. Методы управления стратегией, или самоорганизующиеся системы проектирования (рис. 6.7), предназначены для оценки стратегии в целом в соответствии с внешними критериями и промежуточными результатами осуществления самой этой стратегии.



Эти методы призваны обеспечить сохранение принятой стратегии, несмотря на возникающие трудности, до тех пор, пока она остается перспективной, и ее замену или отказ от нее, когда она перестает соответствовать окружающей обстановке.

### **Как выбрать метод проектирования**

Для выбора метода проектирования можно пользоваться схемой 'Дано - Требуется' (табл. 6.1). Здесь предполагается, что о пригодности того или иного метода можно судить, если сопоставить то, что уже известно проектировщикам, с тем, что они хотят определить. Исходными данными, соответствующими колонке "Дано" (или "Вход"), служат те сведения, которыми проектировщики должны располагать, прежде чем пользоваться методом. Конечные результаты, соответствующие строке "Требуется" (или "Выход"), - это те данные, которые получаются в результате применения данного метода. Шкалы "Дано" и "Требуется" совершенно идентичны: они построены в порядке уменьшения общности и увеличения определенности. Методы, наиболее полезные на ранних стадиях, когда почти всё неопределенно, попадают в верхний левый угол таблицы, а методы, соответствующие конечным стадиям решения задач проектирования, — в ее нижний правый угол. В клетках, далеко отстоящих от диагонали, приводятся методы, которые, по сути дела, представляют собой целые стратегии, поскольку они позволяют перескочить через несколько этапов. В клетках же, расположенных непосредственно над диагональю, указаны методы пошагового проектирования, из которых могут быть составлены стратегии проектирования. Некоторые методы повторно указаны ниже диагонали; это означает, что их можно использовать для проверки, т.е. для изменения формулировки задачи после ее частичного исследования. Способ применения схемы "Дано — Требуется" состоит в следующем:

1. Найти в графе "Дано" те категории информации, которые уже имеются. В ближайшей строке перечислены методы, которые применимы для решения соответствующей задачи.

2. По строке "Требуется" найти тот вид информации, который необходимо получить на данной стадии. Методы, обеспечивающие получение такой информации, указаны в соответствующей колонке.

3. Клетка, которая находится на пересечении выбранной строки с выбранной колонкой, содержит методы, позволяющие на основании имеющихся исходных данных получить необходимые конечные результаты.

Пользуясь таблицей, нельзя забывать, что это всего лишь попытка классификации методов проектирования, еще не опробованная на практике. Вероятно, читатели не всегда согласятся с тем, куда мы отнесли тот или иной метод; возможно, они смогут отыскать более удобную и четко определенную систему категорий. Пока же мы постараемся дать некоторые пояснения, которые позволят читателю легче понять структуру нашей схемы.



Таблица 6.1

<p>ТРЕБУЕТСЯ →</p> <p>ДАНО ↓</p>	<p>2</p> <p>Исследование исходной проектной ситуации</p>	<p>3</p> <p>Анализ и преобразование структуры задачи</p>
<p>1</p> <p>Составление технического задания</p>	<p>9.1. Формулирование задач</p> <p>9.2. Поиск литературы</p> <p>9.3. Визуальные несоответствия</p> <p>9.4. Интервьюирование потребителей</p> <p>10.1. Мозговая атака</p>	<p>9.2. Поиск литературы</p> <p>9.3. Визуальные несоответствия</p> <p>9.4. Интервьюирование потребителей</p> <p>10.1. Мозговая атака</p> <p>10.2. Синектика</p>
<p>2</p> <p>Исследование исходной проектной ситуации</p>		<p>9.1. Формулирование целей</p> <p>9.9. Скрытие данных</p> <p>11.1. Матрица взаимодействий</p> <p>11.2. Сеть взаимодействий</p> <p>11.3. Классификация</p> <p>12.4. Составление технического задания</p>
<p>3</p> <p>Анализ и преобразование структуры задачи</p>	<p>9.2. Поиск литературы</p> <p>9.5. Анкетный опрос</p> <p>9.6. Исследование поведения потребителей</p> <p>9.7. Системные испытания</p> <p>9.8. Выбор шкал измерения</p> <p>9.9. Нахождение данных</p>	
<p>4</p> <p>Определение границ, описание промежуточных решений и выявление конфликтов</p>		<p>10.2. Синектика</p> <p>10.3. Дисквалификация тупиковых ситуаций</p> <p>11.3. АИДА</p> <p>11.4. Трансформация системы</p> <p>11.5. Смещение границ</p> <p>11.6. Проектирование новых функций</p> <p>11.7. Метод Александера</p>
<p>5</p> <p>Комбинирование промежуточных решений и варианты проекта</p>		
<p>6</p> <p>Оценка вариантов проекта и выбор окончательного варианта</p>		

<p><b>4</b></p> <p>Определение границ, описание промежуточных решений и выявление конфликтов</p>	<p><b>5</b></p> <p>Комбинирование промежуточных решений и варианты проекта</p>	<p><b>6</b></p> <p>Оценка вариантов проекта и выбор окончательного варианта</p>
<p>9.3. Визуальные несоответствия</p> <p>10.1. Мозговая атака</p> <p>10.4. Морфологические карты</p>	<p>9.3. Визуальные несоответствия</p> <p>10.1. Мозговая атака</p> <p>10.2. Синектика</p>	<p>8.1. Переключение стратегии</p> <p>8.2. Фундаментальный метод Моцарта</p>
	<p>11.4. Трансформация системы</p> <p>11.6. Проектирование новых функций</p> <p>11.7. Метод Александра</p>	
<p>7.5. Поиск границ</p> <p>9.7. Системные испытания</p> <p>10.1. Мозговая атака</p> <p>10.4. Морфологические карты</p> <p>12.2. Выбор критериев</p> <p>12.3. Ранжирование и взвешивание</p> <p>12.4. Соответствие технического задания</p>	<p>10.1. Мозговая атака</p> <p>10.2. Синектика</p> <p>11.4. Трансформация системы</p> <p>11.5. Смещение границ</p>	<p>7.1. Упорядоченный поиск</p> <p>7.2. Стоимостный анализ</p> <p>7.3. Системогенез</p> <p>7.4. Системы «человек-машина»</p> <p>7.5. Поиск границ</p> <p>7.6. Комбинированная стратегия Пейджа</p> <p>7.7. CASA</p>
	<p>10.1. Мозговая атака</p> <p>10.2. Синектика</p> <p>10.3. Индивидуальная функциональная ситуация</p> <p>11.3. AIDA</p>	<p>11.3. AIDA</p>
		<p>7.2. Стоимостный анализ</p> <p>9.5. Аналитический опрос</p> <p>9.6. Исследование поведения потребителей</p> <p>9.7. Системные испытания</p> <p>9.8. Выбор шкал измерения</p> <p>9.9. Накопление и сверивание данных</p> <p>12.1. Контрольные перечни</p> <p>12.2. Выбор критериев</p> <p>12.3. Ранжирование и взвешивание</p> <p>12.4. Составление технического задания</p> <p>12.5. Индекс надежности по Канрву</p>

## Дивергенция

Методы, которые полезно использовать в самом начале проектирования, указаны в колонке 2 ("Исследование исходной проектной ситуации"). Как мы видели в гл. 5, на этой стадии преследуется цель пробуждать сомнения, правильно формулировать вопросы, выявлять существенные факторы, исследовать реакции заказчиков, потребителей и других лиц на различные варианты решения задачи. Дивергентные методы, помещенные в колонке 2, взяты в основном из гл. 9. Некоторые методы гл. 9 помещены в клетку 3-2; это означает, что их можно использовать при пересмотре задачи на более позднем этапе — "Анализ и преобразование структуры задачи" - для изучения новой ситуации проектирования, которая может возникнуть в результате трансформации задачи.

## Трансформация

Этот процесс совершается посредством методов, указанных в колонке 3 (а также в клетках 1-4, 1-5, 1-6 и 2-5, где происходит трансформация исходных данных 1 или 2 в выходные данные 4, 5 или 6). Чтобы лучше понять смысл термина "Анализ и преобразование структуры задачи", лучше всего перечитать раздел "Трансформация" в гл. 5 и пояснения, которые приводятся в ч. II при описании каждого метода гл. 11, указанного в колонке 3. В клетке 4-3 приведены методы, обеспечивающие возможность пересмотра задачи на более поздней стадии. Такой пересмотр бывает очень эффективным: можно придать задаче временную, условную структуру с единственной целью получения информации, которая позволит вскрыть реальные трудности, а затем изменить структуру задачи таким образом, чтобы преодолеть эти трудности.

Обращает на себя внимание тот факт, что в строки 1 и 2 входят по большей части "мягкие" методы, которые по каждой категории дают промежуточные результаты, пока не сложилась окончательная структура задачи. "Жесткие" методы, обеспечивающие твердую основу для исследования структуры нетривиальных задач (клетка 3-2) или для устранения логических затруднений (клетка 4-3), можно применять лишь после того, как получены промежуточные результаты (колонки 3 и 4 соответственно).

## Конвергенция

Операции, приводимые в колонках 4, 5 и 6, всегда направлены на снижение неопределенности, возникшей на предыдущих стадиях, и на конвергенцию к единственному варианту проекта.

Интересен вопрос о месте традиционных методов проектирования в схеме "Дано — Требуется". По-видимому, они будут занимать только нижний правый ее угол.

Метод проб и ошибок, на котором основана эволюция кустарных промыслов, охватывает единственную клетку 5-6 и соперничает с новыми методами оценки, указанными в этой клетке. Попытки ремесленника совершать операции, описываемые в других клетках таблицы, остаются чисто умозрительными, не связанными с применением какого-либо объективного метода или орудия проектирования. Отсюда вытекает и неспособность ремесленника совершать даже небольшие скачки в проектировании, если только он не является высокоодаренной личностью. "Чертежный" способ проектирования занимает несколь-

ко больше места на схеме, но все же он охватывает лишь незначительную ее часть, а на остальной ее площади конструктор вынужден действовать "в уме", не имея методологии и орудий проектирования. Ясно, что методы, указанные в клетках 4-5 и 4-6, особенно метод, изложенный в разд. 11.3, который один занимает целую клетку 4-6, — это новые методы, вступающие в непосредственное соперничество с разработкой эскизов и изготовлением масштабных чертежей. Эти методы, пожалуй, наиболее пригодны для применения в привычных ситуациях проектирования в стенах конструкторского бюро. Методы, указанные в остальных частях схемы "Дано - Требуется", можно рассматривать как формализацию тех мыслительных процессов, которые при традиционном проектировании обычно протекают в мозгу проектировщика. Их можно также считать средствами, которые дают проектировщику достаточное "поле представлений" для разработки не только изделий, но и систем. Как ясно из гл. 3, проектирование систем предполагает способность одновременно предвидеть и оценивать множество альтернативных вариантов изделия. Отсюда можно сделать вывод, что методы, входящие на схеме в зону проектирования систем, дают разработчику систем возможность в каждый момент манипулировать большим числом альтернатив, чтобы таким образом породить новые системы.

Наконец, нужно делать различие между проектированием систем и планированием научно-технического прогресса. Очевидно, для планирования научно-технического прогресса и для разработки систем, отвечающих нарождающимся новым, а не только уже существующим общественным формам, существенное значение имеют методы дивергенции и трансформации, занимающие на схеме верхнюю зону. Если такое толкование схемы правильно, можно сделать вывод, что проектировщики систем стараются найти новое множество изделий, удовлетворяющих потребностям существующего общества, тогда как те, кто планирует научно-технический прогресс, разрабатывают новые системы, которые обеспечивали бы возможность социального развития.

Готовые стратегии (конвергенция)

### **Упорядоченный поиск (применение теории решений)**

Цель

Решить задачу проектирования с логической достоверностью.

План действий

1. Выявить компоненты задачи:
  - а) переменные, которыми проектировщик может распоряжаться по своему усмотрению (факторы решения, или параметры проектирования);
  - б) переменные, которые не зависят от воли проектировщика (факторы окружающей среды, или независимые переменные) ;
  - в) переменные, которые должны определяться проектом (цели, или зависимые переменные);
  - г) назначить целям веса в соответствии с их относительной важностью (см. разд. 12.3 "Ранжирование и взвешивание").
2. Выявить зависимости между переменными.
3. Прогнозировать вероятные значения факторов окружающей среды.
4. Выявить ограничения, или граничные условия, т.е. предельные значения всех переменных.
5. Присвоить числовые значения каждому из факторов решения (т.е. проверить ряд вариантов решения проекта) и вычислить значения зависимых переменных (т.е. рассчитать получаемые при этом технические характеристики изделия).
6. Выбрать такие значения факторов решения, при которых достигается наибольшая сумма числовых значений для всех целей с учетом их весов (т.е. оптимальный вариант проекта) или по крайней мере достигается приемлемое значение для каждой цели.

### **Стоимостный анализ**

Цель

Ускорить поиск путей снижения себестоимости изделия в проектных и производственных организациях.

План действий

1. Назначить консультанта или группу консультантов для обучения комплексных бригад методу стоимостного анализа и для контролирования их деятельности.
2. Установить определенные стандарты технических характеристик и качества изделия.
3. Составить подробную калькуляцию себестоимости всех технологических операций и расходов на приобретение материалов и комплектующих изделий.
4. Предложить каждой комплексной бригаде выполнить по каждой детали изделия следующие четыре этапа стоимостного анализа:
  - а) идентификацию элементов, функций, стоимостей и цен;
  - б) поиск более дешевых альтернатив;
  - в) отбор функционально приемлемых элементов более низкой стоимо-

сти;

г) оформление выбранного варианта изменения конструкции.

5. До того как приступить к производству изделия пониженной себестоимости, представить результаты стоимостного анализа на одобрение:

а) консультантам по стоимостному анализу;

б) конструкторскому бюро;

в) администрации.

Изменение конструкции ракетного двигателя, выполненное фирмой "Тиокол кемикл", г. Денвилл, шт. Нью-Джерси, США.

### **Системотехника**

Цель

Добиться внутренней совместимости между элементами системы и внешней совместимости между системой и окружающей средой.

План действий

1. Определить входы и выходы системы.

2. Найти систему функций, при помощи которых входы можно преобразовать в выходы.

3. Подобрать или разработать технические устройства для осуществления каждой из этих функций.

4. Проверить полученную систему на внутреннюю и внешнюю совместимость.

### **Проектирование систем человек — машина**

Цель

Добиться внутренней согласованности между человеческим и машинным компонентами системы и внешней согласованности между системой и средой, в которой она функционирует.

План действий

1. Определить входы и выходы системы.

2. Найти систему функций, при помощи которых входы можно преобразовать в выходы.

3. Определить, какие функции нужно возложить на людей, а какие — на машины.

4. Определить необходимые методы обучения, вспомогательные устройства, конструкции средств коммуникации между человеком и машиной и конструкции машин.

5. Определить, какие изменения необходимо внести, чтобы обеспечить совместимость между человеком, машиной и средой.

### **Поиск границ**

Цель

Найти пределы, в которых лежат приемлемые решения.

План действий

1. Составить полное описание основных технических требований, кото-

рыми определяется искомый размер.

2. Как можно точнее определить интервал значений, в котором заключена неопределенность.

3. Изготовить действующую модель, позволяющую регулировать основные параметры технических требований в интервале неопределенности.

4. Провести эксплуатационные испытания, чтобы найти предельные размеры, между которыми заключена область нормальной работы изделия.

### **Кумулятивная стратегия Пейджа**

#### **Цель**

Увеличить затраты усилий проектировщиков на анализ и оценку (оба эти процесса носят кумулятивный и конвергентный характер) и уменьшить затраты некумулятивных усилий на синтез решений, которые могут оказаться непригодными, т.е. исключить необходимость разрабатывать плохие проекты, чтобы научиться создавать хорошие.

#### **План действий**

##### **Кумулятивные этапы**

1. Определить существенные цели, т.е. такие цели, достижение которых необходимо, чтобы проект удовлетворял заказчика, потребителей и всех, кого он коснется.

2. Определить внешние факторы, которые могли бы помешать достижению хотя бы одной из существенных целей.

3. Установить критерии, позволяющие однозначно судить о приемлемости проектных решений.

4. Разработать методику испытаний по каждому из критериев. Эта методика должна быть такой, чтобы:

а) точность результатов была не большей, чем необходимо, чтобы отличить приемлемое решение от неприемлемого;

б) вначале проводились испытания, затрагивающие большое число альтернативных решений, а потом те, которые затрагивают лишь несколько решений;

в) доля затрат на проектирование от общей стоимости проектируемого изделия не превышала заданной величины.

##### **Некумулятивные этапы**

5. Собрать обширное множество альтернативных частных решений для каждого существенного критерия и подготовить грубые модели для экстремальных решений.

6. Провести всю последовательность испытаний на этих моделях, отбраковывая после каждого испытания не выдержавшие его модели, пока не обнаружатся явные признаки сходимости к одному комплексу частных решений.

7. Разрешить внутренние противоречия конструкции:

а) путем разработки новых видов испытаний при одновременном воздействии нескольких факторов (при необходимости пересматривая ранее принятые решения)

или

б) путем поиска путей к объединению нескольких частичных решений для устранения противоречий.

8. Остановиться на одном эскизном решении, удовлетворяющем всем существенным критериям, и только после этого переходить к детализовке и уточнениям.

### **Стратегия коллективной разработки гибких архитектурных проектов (CASA - Collaborative Strategy for Adaptable Architecture)**

#### **Цель**

Дать возможность каждому, кто связан с проектированием здания, влиять на решения, от которых зависит как "адаптивность" здания, так и взаимная увязка его частей и деталей.

#### **План действий**

1. Проектирование и реализация системы:
  - а) определить задачи системы по каждой области принятия решений;
  - б) выявить возможные варианты решений по каждой из этих областей;
  - в) принять решение по каждой из этих областей и приступить к строительству системы.
2. Проектирование и реализация подсистемы первого поколения:
  - а) определить задачи подсистемы по каждой области принятия решений;
  - б) выявить возможные варианты решений по каждой из этих областей;
  - в) принять решение по каждой из этих областей и приступить к строительству подсистем первого поколения.
3. Проектирование и реализация подсистемы второго и последующих поколений.

Подсистемы второго и последующих поколений разрабатываются и строятся в течение срока службы здания по методике, изложенной в п.2. Одно из возможных множеств областей принятия решений приведено в табл. 7.4.

Специалисты каждого профиля (градостроители, архитекторы, инженеры-строители, нормировщики, подрядчики и т. д.) вместе с другими специалистами исследуют варианты решения. Заказчики и представители местных органов власти должны утвердить цели и варианты решения по каждой стадии, после чего в распоряжении бригады проектировщиков остается значительное "пространство маневрирования", которое используется при выборе непротиворечивого комплекса вариантов и свойств. "Систему" составляют те части и свойства здания, которые будут изменяться в течение всего срока его эксплуатации: несущие конструкции и те факторы среды, как, например, высота потолков, которые определяются выбором несущих элементов. "Подсистемы" складываются из всех факторов проектирования, которые можно изменять в течение срока службы здания, таких, например, как расположение несущих стен, систем отопления и освещения, внутренняя и внешняя отделка, форма и размещение окон и, естественно, свойства и характер деятельности тех, кто пользуется этим зданием.



## **Переключение стратегии**

### **Цель**

Добиться, чтобы спонтанное мышление влияло на организованное мышление и наоборот.

### **План действий**

1. Приступить к работе по стратегии, которая, по представлениям проектировщиков, соответствует задаче.
2. Действуя в соответствии с этой стратегией, отдельно записывать мысли, которые спонтанно приходят в голову каждому проектировщику.
3. Записывать каждую спонтанную мысль, как только она возникла, и не возобновлять работ по принятой стратегии, пока не будет уверенности, что каждая мысль в достаточной мере исследована, разработана и записана. Когда данная тема до конца продумана, возобновить работы по принятой стратегии.
4. Когда накоплено достаточное количество результатов, проверить направления, в которых идут плановая стратегия и спонтанные мысли.
5. Если эти два направления противоречат друг другу, решить, игнорировать ли спонтанные мысли или перейти к новой стратегии, в которой эти два направления будут взаимно усиливаться.
6. Повторять эти действия до тех пор, пока не будет найдена стратегия, порождающая спонтанные мысли, которые ее укрепляют.

## **Фундаментальный метод проектирования Мэтчетта (FDM)**

### **Цель**

Научить проектировщика понимать и контролировать свой образ мыслей и более точно соотносить его со всеми аспектами проектной ситуации.

### **План действий**

1. Пройти обучение принципам и применению фундаментального метода проектирования.
2. После этого использовать следующие "режимы мышления" для осознания, контроля и приспособления образа мышления к задачам проектирования:
  - а) мышление стратегическими схемами;
  - б) мышление в параллельных плоскостях;
  - в) мышление с нескольких точек зрения;
  - г) мышление "образами";
  - д) мышление в основных элементах.
3. Одновременно с помощью методики проектирования и контрольных перечней фундаментального метода проектирования исследовать характер проектной ситуации, к которой применяется мышление.

## **Методы исследования проектных ситуаций**

### **(дивергенция)**

### **Формулирование задач**

### **Цель**

Охарактеризовать внешние условия, которым должен отвечать проекти-

руемый объект.

План действий

1. Определить характерные для ситуации условия, которым должен отвечать объект, чтобы он был принят заказчиками.

К этим условиям относятся:

- а) конечные требования заказчиков к объекту и их обоснование;
- б) наличные ресурсы;
- в) главные задачи (или цели).

Конечной целью является обеспечение соответствия объекта этим условиям.

3. Обеспечить, чтобы условия, характеризующие главные задачи, были совместимы как друг с другом, так и с информацией, используемой в процессе проектирования.

### **Поиск литературы**

Цель

Отыскать опубликованную информацию, полезную для будущих проектных решений, которую можно получить своевременно и без излишних затрат.

План действий

1. Определить цели, для которых разыскивается опубликованная информация.

2. Определить виды изданий, в которых может публиковаться достоверная информация, пригодная для указанных целей.

3. Выбрать наиболее подходящие общепринятые методы поиска литературы.

4. Свести стоимость поиска литературы к минимуму, предусмотрев время на задержки в выдаче информации и непрерывно оценивая как выбор источников информации, так и пригодность собранных данных.

5. Поддерживать точную и полную картотеку признанных полезными документов.

6. Составить и постоянно обновлять небольшую библиотечку для быстрого отыскания нужной информации.

### **Выявление визуальных несоответствий**

Цель

Определить направления, по которым должен идти поиск путей совершенствования художественно-конструкторского решения.

План действий

1. Изучить образцы и (или) фотографию существующих изделий.

2. Определить очевидные несоответствия и противоречия в компоновке и назначении деталей конструкции.

3. Определить причины этих несоответствий и доказать целесообразность изменения художественно-конструкторского решения.

4. Предусмотреть пути ликвидации несоответствий и способы приведения конструкции в соответствие с условиями эксплуатации.

## **Интервьюирование потребителей**

### **Цель**

Собрать информацию, известную только потребителям данного изделия или системы.

### **План действий**

1. Выявить ситуации потребления, имеющие отношение к исследуемой проектной ситуации.
2. Получить согласие всех лиц в рамках ситуации потребления, на которых может оказать влияние присутствие интервьюирующего или внедрение нового проекта.
3. Побуждать потребителей к описанию и демонстрации любых аспектов их деятельности, которые они считают важными.
4. Направить беседу на обсуждение тех аспектов деятельности потребителя, которые имеют непосредственное отношение к исследуемой ситуации.
5. Зафиксировать во время интервью или сразу же после него как основные, так и побочные выводы.
6. Получить замечания потребителей (если это целесообразно) относительно выводов, сделанных на основании интервью.

## **Анкетный опрос**

### **Цель**

Собрать полезную информацию среди большой группы населения.

### **План действий**

1. Определить проектные решения, на которые могут повлиять ответы на вопросы анкеты.
2. Охарактеризовать виды информации, имеющие важное значение для принятия проектных решений.
3. Определить категории лиц, располагающих необходимыми видами информации.
4. Провести предварительные исследования, чтобы получить представление о знаниях потенциальных участников анкетного опроса.
5. Составить пробную анкету, отвечающую как процедуре опроса, так и конкретной проектной ситуации.
6. Распространить пробную анкету для проверки вопросов, вариативности ответов и метода их анализа.
7. Отобрать наиболее подходящий контингент лиц, располагающих необходимой информацией.
8. Собрать ответы на анкету путем личного интервьюирования или по почте.
9. Извлечь из ответов данные, наиболее полезные для проектировщиков.

## **Исследование поведения потребителей**

### **Цель**

Исследовать модели поведения потенциальных потребителей нового изделия и предсказать их предельные характеристики.

#### План действий

1. Прежде чем приступить к разработке новой конструкции, следует проконсультироваться с опытными и неопытными потребителями аналогичного оборудования и провести соответствующие наблюдения.

2. Проанализировать систему человек-машина для определения задач, возможностей потребителя и художественно-конструкторских требований к тем деталям конструкции, которые находятся в непосредственном взаимодействии с потребителем.

3. Изучить путем наблюдения или моделирования особенно важные аспекты поведения как малоискушенных, так и опытных потребителей предлагаемого изделия.

4. Зафиксировать предельные значения, превышение которых приведет к невозможности выполнения потребителем необходимых операций без возникновения ошибок, поломок и неудобств. Описанную методику в Европе относят к "эргономике", а в США называют "исследованием человеческих факторов".

### **Системные испытания**

#### Цель

Определить действия, способные привести к желаемым изменениям сложной проектной ситуации.

#### План действий

1. Определить характеристики данной проектной ситуации, не соответствующие желаемому.

2. Определить источники резких изменений поведения в рамках данной ситуации.

3. Ввести существенные ограничения в источники вариабельности или снять их, зарегистрировав результаты их влияния на характеристики ситуации, не отвечающие желаемому. Зарегистрировать также их влияние на другие характеристики данной проектной ситуации.

4. Выбрать наиболее перспективные и наименее опасные из изученных ограничений и использовать их для планирования и достижения желаемых изменений.

### **Выбор шкал измерения**

#### Цель

Соотнести измерения и вычисления с погрешностями наблюдений, стоимостью сбора данных и с задачами проекта.

#### План действий

1. Сформулировать вопросы, на которые результаты измерения должны дать ответ.

2. Определить допустимую погрешность и приемлемую стоимость изме-

рения.

3. Выбрать соответствующую шкалу измерения.
4. Разработать методику измерений, соответствующую изложенному выше.

### **Накопление и свертывание данных**

Цель

Построить и представить в визуальной форме модели поведения человека, от которых зависят критические проектные решения.

План действий

1. Выявить неопределенности, имеющие критическое значение для успеха или неудачи проектных решений в рассматриваемом диапазоне.
2. Определить, до какой степени следует сократить неопределенности, имеющие критическое значение.
3. Определить время и имеющиеся возможности для сокращения неопределенностей, имеющих критическое значение.
4. Просмотреть существующие методы накопления и свертывания данных, отмечая в каждом случае точность, скорость и стоимость обработки данных, а также типы вопросов, на которые может быть дан ответ.
5. Выбрать методы накопления и свертывания данных, совместимые с изложенными требованиями и друг с другом.
6. Непрерывно проверять релевантность промежуточных результатов и неопределенностей, имеющих критическое значение, и при необходимости корректировать методику.

### **Мозговая атака**

Цель

Стимулировать группу лиц к быстрому генерированию большого количества идей.

План действий

1. Отобрать группу лиц для генерации идей.
2. Ввести правило, запрещающее критиковать любую идею, какой-бы "дикой" она ни казалась, и довести до сознания участников, что приветствуются любые идеи, что необходимо получить много идей и что участники должны попытаться комбинировать или усовершенствовать идеи, предложенные другими.
3. Зафиксировать выдвинутые идеи и дать им затем оценку.

### **Синектика**

Цель

Направить спонтанную деятельность мозга и нервной системы на исследование и преобразование проектной проблемы.

План действий

1. Тщательно подобрать группу специалистов в качестве самостоятельного "отдела разработок".

2. Предоставить этой группе возможность попрактиковаться в использовании аналогий для ориентирования спонтанной активности мозга и нервной системы на решение предложенной проблемы.

3. Передать группе сложные проблемы, которые не может решить основная организация, и предоставить ей достаточное время для их решения.

4. Представить результаты работы группы основной организации для оценки и внедрения.

### **Ликвидация тупиковых ситуаций**

#### **Цель**

Найти новые направления поиска, если очевидная область поиска не дала приемлемого решения.

#### **План действий**

В литературе, посвященной анализу творческой деятельности, приводится ряд способов изменения подхода к решению проблемы, когда работа зашла в тупик. Эти способы не соответствуют последовательной методике, но их можно разделить на несколько типов, каждый из которых может оказаться достаточным для ликвидации тупиковой ситуации:

1. Правила преобразований, которым можно подвергнуть имеющееся неудовлетворительное решение или какие-либо его части.

2. Поиск новых взаимосвязей между частями имеющегося неудовлетворительного решения.

3. Переоценка проектной ситуации.

### **Морфологические карты**

#### **Цель**

Расширить область поиска решений проектной проблемы.

#### **План действий**

1. Определить функции, которые приемлемый вариант изделия должен быть способен выполнять.

2. Перечислить на карте широкий спектр частичных решений, т.е. альтернативных средств осуществления каждой функции.

3. Выбрать по одному приемлемому частичному решению для каждой функции.

### **Методы исследования структуры проблемы (трансформация)**

### **Матрица взаимодействий**

#### **Цель**

Обеспечить систематический поиск взаимосвязей между элементами в рамках данной проблемы.

#### **План действий**

1. Определить понятия "элемент" и "взаимосвязь" (таким образом, чтобы

другие специалисты могли выявить ту же конфигурацию элементов и взаимосвязей, что и вы).

2. Составить матрицу взаимодействий, в которой каждый элемент может быть сопоставлен с любым другим.

3. На основе объективных данных определить, имеется ли взаимосвязь между каждой парой элементов.

### **Сеть взаимодействий**

#### **Цель**

Отразить схему взаимосвязей между элементами в рамках проектной проблемы.

#### **План действий**

1. Дать однозначное определение понятий "элементы" и "взаимосвязи", как это предложено в разд. 11.1.

2. Использовать матрицу взаимодействий для определения взаимосвязанных пар элементов.

3. Вычертить граф в виде точек (представляющих элементы), соединенных линиями (изображающими связи между элементами).

4. Изменить положения точек так, чтобы свести к минимуму число пересечений и более отчетливо выявить структуру сети.

### **Анализ взаимосвязанных областей решения (AIDA)**

#### **Цель**

Выявить и оценить все совместимые комбинации частичных решений проектов проблемы.

#### **План действий**

1. Выявить несколько возможных вариантов в каждой области решений.

2. Указать, какие варианты несовместимы друг с другом.

3. Перечислить все наборы вариантов, которые можно объединять друг с другом, не опасаясь их несовместимости.

4. При наличии единого количественного критерия для выбора вариантов (например, стоимости) найти совместимые наборы вариантов, наилучшим образом удовлетворяющие данному критерию.

### **Трансформация системы**

#### **Цель**

Найти способы трансформации системы с целью ликвидации присущих ей недостатков.

#### **План действий**

1. Выявить коренные недостатки существующей системы.

2. Установить причины этих недостатков.

3. Определить новые типы компонентов системы, способных ликвидировать присущие ей недостатки.

4. Определить последовательность изменений (путь трансформации, или эволюционная траектория), которая позволит существующим компонентам системы эволюционировать в качественно новые.

### **Проектирование нововведений путем смещения границ**

#### **Цель**

Сместить границы нерешенной проектной проблемы, чтобы для ее решения можно было использовать знания из смежных областей.

#### **План действий**

1. Выявить существенные функции какого-либо устройства, которое способствовало бы достижению поставленной задачи.

2. Выявить противоречия между существующими средствами выполнения этих функций в рамках предполагаемых границ проблемы.

3. Выявить знания, выходящие за предполагаемые границы проблемы, которые можно было бы использовать при трансформации проблемы.

4. Найти сопоставимые промежуточные решения проблемы, которые проложили бы путь к частичному или полному использованию знаний из смежных областей.

### **Проектирование новых функций**

#### **Цель**

Создание радикально новой конструкции, способной привести к новым моделям поведения и спроса.

#### **План действий**

1. Выявить функции каждого конкретного элемента существующего решения.

2. Охарактеризовать основную функцию, для которой указанные функции являются вспомогательными.

3. Охарактеризовать изменения основной функции, которые могут привести к улучшению данной проектной ситуации.

4. Объединить решения пп. 2 и 3 для получения новой основной функции. Найти альтернативные решения разделения новой основной функции на вспомогательные и закрепить каждую из них за новыми конкретными элементами.

### **Определение компонентов по Александеру**

#### **Цель**

Найти правильные физические компоненты конкретной структуры, которые можно было бы изменять независимо друг от друга в соответствии с последующими изменениями среды.

#### **План действий**

1. Выявить все требования, оказывающие влияние на формирование конкретной структуры.

2. Определить, является ли каждая пара требований независимой или нет,



и зафиксировать каждое решение в матрице взаимодействий.

3. Разложить матрицу на группы с тесной внутренней взаимосвязью и слабой связью между группами. Это и будут "правильные" компоненты.

4. Разработать конкретные компоненты для каждого набора требований.

5. Скомпоновать из этих новых компонентов новую конкретную структуру или ввести некоторые новые компоненты в конкретные существующие системы.

### **Классификация проектной информации**

Цель

Разделить проектную проблему на поддающиеся решению части.

План действий

1. Записать на отдельной карточке каждую единицу информации, собранной в результате исследования проектной ситуации.

2. Классифицировать карточки по альтернативным наборам категорий до тех пор, пока не будет найден набор, соответствующий как зафиксированным данным, так и субъективной точке зрения проектировщика на проблему.

3. Использовать отобранные наборы категорий как основу для индексации информации, собранной на более позднем этапе, для разбивки проблемы на части с целью последовательной или параллельной работы над ними, а также для пробной идентификации переменных величин и взаимосвязей между ними.

4. Пересмотреть классификацию на более позднем этапе, если появятся противоречивые доказательства, изменятся задачи или точка зрения проектировщика на проблему.

### **Методы оценки (конвергенция)**

#### **Контрольные перечни**

Цель

Дать проектировщикам сведения о требованиях, которые были признаны релевантными в аналогичных ситуациях.

План действий

1. Подготовить перечень вопросов, которые были признаны важными в одной или нескольких аналогичных ситуациях.

2. Задать некоторые или все эти вопросы применительно к проекту, подлежащему оценке.

#### **Выбор критериев**

Цель

Установить критерии приемлемости проектного решения.

План действий

1. Сформулировать задачу, которой должно отвечать приемлемое проектное решение.

2. Охарактеризовать "гарантирующее успех" направление работ по данной задаче.

3. Изучить имеющиеся данные о влиянии отклонений от сформулированной задачи и определить условие, соответствующее "области гарантированного успеха" в зоне между приемлемым и неприемлемым решениями.

4. Выбрать в качестве критерия простейшую меру, надежно указывающую, лежит ли проект в "области гарантированного успеха".

5. Повторить действия п.п. 1—4 для каждой задачи.

### **Ранжирование и взвешивание**

#### **Цель**

Сравнить ряд альтернативных проектных решений, используя общую шкалу измерения.

#### **План действий**

1. Определить задачи, которым должны отвечать альтернативные проектные решения.

2. Если задачи следует ранжировать, то:

а) записать в матрице предпочтительную задачу из каждой пары;

б) распределить задачи по их степени предпочтения.

3. Если задачи должны быть взвешены, назначить каждой задаче коэффициент весомости, указывающий на ее важность по сравнению с другими задачами.

4. Измерить или оценить степень, с которой каждое альтернативное проектное решение отвечает каждой из ранжированных или взвешенных задач.

5. Преобразовать эти результаты в процентные отношения при ранжировании задач и в абсолютные величины цифровых коэффициентов весомости при взвешивании задач.

6. Выбрать альтернативные проектные решения, имеющие наилучшее процентное отношение или наибольший коэффициент весомости.

### **Составление технического задания**

#### **Цель**

Описать приемлемый конечный результат предстоящего процесса проектирования.

#### **План действий**

1. В предварительном плане охарактеризовать ряд возможных результатов на разных уровнях общности.

2. Выбрать низший уровень общности, предоставляющий проектировщикам достаточную свободу решений.

3. Определить ожидаемый результат проектирования вне зависимости от проектных характеристик, которые проектировщики могут свободно изменять, и в зависимости от эксплуатационных характеристик, которые проектировщики в состоянии прогнозировать.

### **Индекс надежности по Квирку**

#### **Цель**

Позволить неопытным проектировщикам выявлять ненадежные элементы

без испытания всей конструкции.

#### План действий

1. Подготовить описательную классификацию, включающую все характеристики, относящиеся к надежности деталей, а также все случаи ненадежности \*' для рассматриваемого типа изделия.

2. Предложить опытным проектировщикам оценить степень, с которой каждая пара элементов в данной классификации увеличивает ненадежность изделия.

3. На основе сделанных инженерами оценок вычислить средние величины показателей ненадежности для каждого элемента классификации.

4. Выбрать элементы для описания каждой детали новой конструкции.

6. Изменить конструкцию деталей, для которых получился высокий показатель ненадежности.

## **ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Энергетические объекты имеют длительные расчетные периоды около 30 - 40 лет, так как в среднем период проектирования крупных тепловых электростанций составляет не менее 3 - 5, период строительства 5 - 6, нормативный период эксплуатации ТЭС - 30 лет.

Энергетические объекты размещают ближе к основным потребителям и они должны иметь по возможности наименьшую протяженность тепло -, газо -, паропроводов и линий электропередач, а открытые подстанции рекомендуется размещать на самостоятельных участках. Все здания вспомогательного производства, как правило, располагают в зоне, соседней с зоной цех-аз основного производства.

Энергетические объекты ( компрессорная, распределительные устройства) следует приближать к производству.

Энергетические объекты должны быть приближены к основным потребителям энергии, пара, газа, воды с учетом максимального сокращения протяженности инженерных коммуникаций.

Постоянные энергетические объекты строящегося предприятия и существующие источники питания электроэнергией должны максимально использоваться для временного электроснабжения строительства. С этой целью электроустановки строящегося предприятия должны сооружаться в первую очередь, что в значительной степени снизит расходы на прокладку временных линий и подстанций.

Энергетическим объектам в соответствии с действующим положением системы сельской телефонной связи должен предоставляться выход на междугородную связь, если предприятие электрических сетей находится в другом сельском районе.

Строительство энергетических объектов производится по государственным планам в объеме, соответствующем средствам, выделенным на развитие энергетики. Эффективное использование этих средств позволяет обеспечить высокие темпы электрификации страны. Поэтому при обосновании основных проектных технических решений большое внимание уделяется экономическим расчетам сравнительной экономической эффективности капитальных вложений.

Строительство энергетических объектов, как правило, осуществляется по сетевым графикам.

Для энергетических объектов нормальный срок окупаемости принят в 8 лет, при котором целесообразно осуществлять дополнительные капитальные вложения.

Для энергетических объектов характерны следующие составляющие капиталовложений, затраты на приобретение оборудования и его транспортировку, на проектно-сметную документацию, на строительные-монтажные и пусконаладочные работы.

Проектирование энергетических объектов осуществляется на основе технико-экономических обоснований ( ТЭО), подтверждающих экономическую целесообразность и хозяйственную необходимость их проектирования и строи-

тельства.

Проектирование энергетических объектов ведется в одну или в две стадии. При двухстадийном проектировании на первой стадии разрабатывается технический проект, в котором определяются окончательное месторасположение электростанции и отдельных ее сооружений, окончательная мощность и сроки ввода по очередям, предполагаемый режим работы, состав и типы оборудования, топливоснабжение и водообеспечение, транспортные коммуникации, организация строительства и методы производства работ, общая стоимость строительству электростанции и ее технико-экономические показатели.

Проектирование энергетических объектов ведется в одну или в две стадии. При двух-стадийном проектировании на первой стадии разрабатывается технический проект, в котором определяются, например для электростанции, окончательное ее месторасположение, а также расположение отдельных сооружений, окончательная мощность и сроки ввода по очередям, предполагаемый режим работы, состав и типы оборудования, топливоснабжение и водообеспечение, транспортные коммуникации, организация строительства и методы производства работ, общая стоимость строительства электростанции и ее технико-экономические показатели.

Проектирование энергетических объектов ведется, как правило, в две стадии: разработка проектного задания и рабочих чертежей. На первой стадии разрабатывается проектное задание со сметно-финансовым расчетом с целью выявления и установления наиболее целесообразных в техническом и экономическом отношениях проектных решений, оценки возможности осуществления строительства в намеченные сроки и определения общей стоимости строительства и основных технико-экономических показателей.

Большинство энергетических объектов, обладающих естественными экстремальными свойствами, имеют в качестве показателей экстремума физическую величину, которая пропорциональна разности потребной и располагаемой мощностей. Так, потребная удельная тяга реактивного двигателя растет пропорционально увеличению скорости, а располагаемая, напротив, падает с увеличением скорости. Их разность составляет избыточную тягу. Аналогично можно рассчитать дальность полета.

Строительство энергетических объектов производится по государственным планам, в соответствии с развитием производственных сил страны и отраслей народного хозяйства.

Под энергетическими объектами понимаются источники, вырабатывающие энергию. К энергетическим предприятиям относятся электростанции - гидрологические, атомные, тепловые.

На энергетических объектах для соединения секций комплектных распределительных устройств ( КРУ) 6 и 0,5 кВ применяются комплектные шинопроводы КЗШ. Они имеют защитный короб, на дне которого установлены опорные изоляторы ОФР-6 / 750 с шинодержателями и шинами швеллерного профиля.

На энергетических объектах тепловых и атомных электростанций имеется несколько щитов. На каждом блоке турбина-генератор управление и кон-

троль ведут с блочного щита.

Проблема надежности энергетических объектов давно вышла за чисто отраслевые рамки. Аварии и отказы на электростанциях и в энергосистемах сказываются в промышленности и на транспорте, усиливают вредное воздействие на окружающую среду.

В расчетах энергетических объектов это означает, что сравниваемые варианты должны рассматриваться в условиях одинакового уровня электропотребления и нагрузки энергосистемы. Одинаковой должна быть надежность электроснабжения. Режимы работы электростанций в системе должны быть оптимальными. Варианты, отличающиеся друг от друга параметрами проектируемого объекта, должны приводиться к одинаковому энергетическому эффекту.

Большая часть энергетических объектов не могла быть охвачена внедрением систем импульсной очистки, так как на этих объектах не было газообразного топлива. Вставал остро вопрос создания камер на жидком топливе. По запросам ряда электростанций представилось возможным проверить на энергетических котлах некоторые из систем импульсной очистки, разработанные применительно к котлам-утилизаторам. Результаты их применения приведены ниже.

Продолжительность строительства энергетических объектов установлена строительными нормами и правилами (СНиП, III-A. Продолжительность строительства, принятая в нормах, охватывает весь период строительства и монтажа объекта, в том числе период подготовительных работ на строительной площадке, время, необходимое для монтажа оборудования, а также для выполнения пусковых и наладочных работ и комплексного опробования при сдаче объекта в эксплуатацию.

Собственные нужды энергетических объектов по добыче и переработке топлива и преобразованию энергии должны непосредственно отражаться в энергетическом балансе. Исключение составляет, как отмечалось выше, расход теплоты на собственные нужды котельных. Такой подход позволяет оценить коэффициенты преобразования энергетических ресурсов.

В телеуправлении энергетическими объектами, например, широко используются высокочастотные каналы связи по линиям электропередачи. В таких каналах синусоидальные колебания высокой частоты являются переносчиками энергии сигнала.

Известно, что энергетические объекты изначально являются особо капиталоемкими, ремонтоемкими, а инвестиции в электроэнергетику имеют относительно длительные сроки окупаемости. Причем в этой отрасли всегда будет весьма неблагоприятное для инвесторов соотношение между продажной ценой электроэнергии и стоимостью основного капитала. Положение усугубляется, когда эти факторы проецируются на российскую действительность: высокий физический износ основного капитала и низкий технико-экономический уровень производственного аппарата, причем в преддверии ожидаемых высоких темпов экономического роста. Поэтому налицо серьезнейшая проблема привлечения инвестиций для отечественного энергетического бизнеса, механизмы

решения которой находятся только в стадии становления.

Задачи быстрого ввода энергетических объектов, технологическая последовательность монтажных работ и необходимость заблаговременного устранения дефектов требуют выполнения максимального количества проверок и испытаний в процессе монтажа оборудования до его полного окончания, что наряду с указанным выше также легло в основу построения курса, излагаемого в учебнике, и должно учитываться при производстве наладочных работ.

Однако при проектировании энергетических объектов обычно такого варианта выделить не представляется возможным, так как увеличение вложений влечет за собой снижение эксплуатационных расходов. Нередко также среди вариантов имеется такой, для которого вложения являются минимальными по сравнению с другими вариантами, а эксплуатационные расходы - наибольшими.

Однако сроки строительства энергетических объектов довольно значительны - на сооружение АЭС или глубокой угольной шахты может потребоваться до 10 лет. Не следует ожидать до следующего столетия заметного вклада в энергоснабжение со стороны нетрадиционных возобновляемых источников энергии, таких как ветер, солнце, волны и геотермальная энергия.

Для оперативного обслуживания энергетических объектов электросетей предусматриваются: аварийно-предупредительная телесигнализация для подстанций с небольшим числом оперативных переключений и телеуправление для подстанций с частыми оперативными переключениями.

Обеспечивает внедрение на энергетических объектах новой техники и передового опыта, направленных на повышение безопасности работ и предотвращение загрязнения окружающей среды.

При установке на энергетических объектах однотипного оборудования серийного выпуска и использования для их сооружений строительных конструкций и элементов заводского изготовления возможно применение типовых проектов. Типовым называется утвержденный проект, предназначенный для многократного использования на строительстве одинаковых объектов. Он содержит полный комплект рабочих чертежей с пояснительной запиской, спецификациями на оборудование и ведомостями потребных материалов, данными об объемах работ. Для применения типового проекта на конкретном объекте требуется привязка рабочих чертежей к местным условиям строительной площадки.

Источниками шума являются все энергетические объекты: электростанции, ЛЭП и ПС. В последнее время в практике строительства и эксплуатации все чаще приходится сталкиваться с вопросами борьбы с шумом от подстанций, близких к жилым массивам. Источниками шума на ПС являются трансформаторы, вентиляторы и насосы систем охлаждения, синхронные компенсаторы, воздушные выключатели. Снижение шума достигается специальным размещением ПС, применением шумозащитных перегородок.

Возведенные в последние годы энергетические объекты характеризуются высокой степенью механизации и индустриализации строительных процессов. Значительные объемы строительных и монтажных работ выполняются с помо-

щью современных строительных машин и механизмов, управление которыми может быть поручено только высококвалифицированному персоналу.

Важнейшим показателем экологического воздействия энергетического объекта является выброс того или иного компонента в атмосферу.

Исходя из особенностей каждого энергетического объекта следует разрабатывать конкретные рекомендации по тушению пожаров на наиболее ответственных и пожароопасных сооружениях и электроустановках: в кабельных помещениях, генераторах, трансформаторах, а также оговорить порядок тушения электроустановок без снятия напряжения ( до 10 кВ) при строгом выполнении правил техники безопасности.

В общей стоимости строительства энергетического объекта различают затраты на оборудование, строительные работы, монтажные работы, прочие капитальные работы.

Тенденция к повышению мощности энергетических объектов ведет к усложнению схем вторичных соединений и повышению ответственности работы цепей управления и сигнализации. Все это требует особого внимания к построению и выполнению схем вторичных соединений. Непременным требованием следует считать четкость построения схем, позволяющую быстро ориентироваться и обнаруживать неполадки или ложную работу цепей. Кроме того, необходимо обеспечивать исправную работу вторичных цепей каждого присоединения и возможность проверки состояния оперативных цепей в пределах любого устройства. Для этого на каждое присоединение предусматривается индивидуальное защитное устройство - предохранитель или лучше автоматический выключатель с вспомогательными контактами для сигнализации о его срабатывании. Защитное устройство должно выбираться с учетом избирательности действия по схеме и иметь постоянно действующий контроль состояния цепей питания оперативным током.

Если проектирование и сооружение энергетических объектов ведется без должного учета их влияния на биосферу, то это может приводить к серьезным последствиям.

При этом использование на энергетических объектах труб высотой более 250 м, а на других производствах - более 200 м допускается только по согласованию с органами Госкомгидромета при наличии технико-экономического обоснования необходимости их сооружения.

Непосредственно на территории промышленного предприятия энергетические объекты ( теплоцентраль, котельные, газогенераторные станции, склады топлива, градирни) располагают с подветренной стороны ( для господствующих ветров) по отношению к другим зданиям.



# Содержание и состав проекта теплоэнергетических объектов (ТЭС, котельная)

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящий Свод правил является основополагающим документом, устанавливающим требования, подлежащие обязательному учету при проектировании вновь сооружаемых, расширяемых или реконструируемых энергетических объектов независимо от форм собственности и подчинения, включая:

- тепловые электростанции (ТЭС) с паротурбинными агрегатами единичной мощностью 6,0 МВт и более при начальных параметрах пара перед турбиной до 30,0 МПа (300 кгс/см<sup>2</sup>) и 250-600°С;

- тепловые электростанции с газотурбинными (ГТУ) и парогазовыми установками (ПГУ) с газовыми турбинами единичной мощностью 6,0 МВт и более.

Настоящий Свод правил не распространяется на:

- ТЭС (ПГУ) с высоконапорными парогенераторами и с внутрицикловой газификацией топлива;

- передвижные электростанции;

- теплоэлектрогенерирующие установки объектов подземного и подводного применения;

- теплоэлектрогенерирующие установки, размещаемые на морских, речных судах и других плавучих средствах;

- теплогенерирующие установки и оборудование атомных электростанций;

- дизельные электростанции;

- геотермальные электростанции.

1.2. В Своде правил приведены основные положения проектирования тепловых электрических станций (ТЭС) с паротурбинными установками и ТЭС, использующих для выработки электрической и тепловой энергии парогазовые (ПГУ) или газотурбинные установки (ГТУ).

Проектирование отдельных сооружений, узлов и систем, входящих в состав тепловой электростанции или иной теплоэлектрогенерирующей установки в составе промышленных предприятий, должно выполняться в соответствии с законодательными и нормативными актами Российской Федерации и/или ее субъектов и не должно противоречить требованиям настоящих Норм и других действующих отраслевых нормативных документов.

1.3. Отступление от требований действующих стандартов, норм и правил допускается только по согласованию с организацией, утвердившей их. В случае, когда указанные документы согласованы с другими надзорными органами (Госгортехнадзор РФ, природоохранными и др.), отступления должны быть согласованы и с ними.

1.4. Электрическая и тепловая мощность, тип оборудования тепловой электростанции определяются требованиями Заказчика, схемой развития энергосистемы или тепловой сети и уточняются в обоснованиях инвестиций и в ТЭО (проектах) строительства на основе анализа экономической целесообразности покрытия роста тепловых нагрузок района, дефицита электроэнергии с учетом влияния ограничивающих факторов конкретной площадки по условиям обеспечения технологического процесса топливом и водой, генерального плана, обеспечения экологических требований и других местных условий.

Единичная мощность основного оборудования теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) выбирается с учетом характера тепловых нагрузок (паровых или отопительных).

1.5. Установленная мощность тепловой электростанции на базе паросиловых установок (ПСУ) определяется при среднегодовых значениях температуры, давления, влажности воздуха и температуры охлаждающей воды для условий площадки ТЭС.

1.6. По заявке Заказчика при разработке обоснований инвестиций и ТЭО (проектов) следует предоставлять предложения по возможности использования отходов производства тепловых электростанций (золошлаков, сбросного тепла, шламов и др.). При этом должны предусматриваться установки, сооружения и производства по сбору отходов, их переработке и выдаче потребителям.

1.7. Комплекс зданий и сооружений тепловых электростанций должен обеспечивать:

- надежное и экономичное ведение технологического процесса (эксплуатации);
- возможность проведения ремонта оборудования;
- охрану окружающей среды;
- взрыво- и пожарную безопасность;
- требования эргономики;
- безопасную работу персонала;
- охрану объекта. В комплекс зданий и сооружений тепловых электростанций

входят:

а) здания и сооружения основного производственного назначения (главный корпус, установки газоочистки и удаления золы и шлака, дымовые трубы, сооружения электрической части, технического водоснабжения, установки удаления золы и шлака, топливное хозяйство со складами твердого и/или жидкого топлива, газовое хозяйство);

б) подсобно-производственные здания и сооружения (объединенный вспомогательный корпус, включая химводоочистку; пусковая или вспомогательная паровая и пиковая водогрейная котельная; лаборатории; маслосклад; железнодорожная станция; сооружения по сбору и очистке замасленных, бытовых и ливневых стоков; подъездные и внутривозрадные дороги; ограждения и др.);

в) административно-бытовой корпус или бытовой и административный корпус со столовой, сооружениями гражданской обороны, пожарной охраны и др.;

Необходимость проектирования дополнительных зданий и сооружений (маслоап-паратная, электролизерная, ремонтные мастерские, склады и др.), производственных зданий и сооружений по выпуску материалов и изделий из отходов производства (золы, шлака, шламов, продуктов сероочистки газов) определяется заданием на проектирование.

1.8. Все системы и сооружения ТЭС должны проектироваться с учетом осуществления необходимых мер в области защиты работников ТЭС и подведомственных объектов производственного и социального назначения от чрезвычайных ситуаций, с планированием мероприятий по повышению устойчивости функционирования ТЭС, обеспечению жизнедеятельности работников ТЭС в чрезвычайных ситуациях, предупреждению аварий.

1.9. Проектирование тепловых электростанций должно вестись с применением оборудования, автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), средств механизации ремонтных работ заводского изготовления, технический уровень которых отвечает современным и перспективным требованиям.

1.10. В проектах конденсационных электростанций (КЭС) показатели экономичности (удельный расход топлива на отпуск электроэнергии и расход электроэнергии на собственные нужды) определяются для трех режимов работы станции на проектном расчетном (гарантийном) топливе.

В качестве исходных расчетных нагрузок принимаются – 100%-ная и две другие принимаемые в зависимости от заданного режима работы КЭС в энергосистеме (80 и 60% или 70 и 50% от номинальной мощности либо другие значения).

Показатели экономичности для среднегодового режима определяются с учетом продолжительности работы КЭС на каждой вышеперечисленной нагрузке.

1.11. В проектах теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) показатели экономичности (удельный расход топлива на отпуск электроэнергии и тепла и расход электроэнергии

на собственные нужды) определяются для двух режимов работы: среднезимнего (при средней температуре отопительного периода) и среднелетнего (при средней температуре летнего периода) на проектном расчетном (гарантийном) топливе.

Среднегодовые показатели определяются с учетом продолжительности вышеперечисленных режимов.

1.12. Основные технические решения должны приниматься с учетом наихудшего проектного топлива и обеспечения при этом принятых показателей мощности, надежности, маневренности, экологической безопасности и др.

1.13. По требованию Заказчика в проектах тепловых электростанций с блоками 180 МВт и выше может быть предусмотрено строительство учебно-тренировочных пунктов. Предусматриваемые в проекте учебно-тренировочные пункты должны включаться в пусковые комплексы первых энергоблоков ТЭС.

1.14. Для паросиловых электростанций, сооружаемых в районах с расчетной температурой наружного воздуха для отопления минус 20°C и выше, допускается проектирование главных корпусов электростанций с открытым котельным отделением, а также с полуоткрытой установкой пиковых водогрейных котлов, работающих на твердом топливе.

Открытая установка котлов-утилизаторов газотурбинных ТЭС допускается в районах с расчетной температурой наружного воздуха для отопления минус 23°C и выше.

Полуоткрытая установка водогрейных котлов на газообразном и жидком топ-ливах рекомендуется в районах с расчетной температурой наружного воздуха для отопления минус 25°C и выше.

1.15. При реконструкции существующих ТЭС компоновочные решения по размещению оборудования в главных корпусах ТЭС должны приниматься на основании технико-экономических сравнений вариантов.

1.16. Объемно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений следует разрабатывать в соответствии с требованиями действующих Федеральных и ведомственных нормативных документов и настоящих правил.

Принятые решения должны обеспечивать рациональное размещение и нормальную эксплуатацию оборудования, а также соответствующие действующим нормам условия работы обслуживающего персонала.

1.17. На блочных конденсационных электростанциях должна обеспечиваться возможность одновременного пуска не менее двух энергоблоков по условиям подачи топлива, запаса обессоленной воды, электро- и пароснабжения собственных нужд и прочим условиям.

1.18. Станционные трубопроводы должны проектироваться в соответствии с Правилами Госгортехнадзора РФ, нормами расчета на прочность, отраслевыми стандартами на детали и элементы трубопроводов и другими нормативно-техническими материалами.

При выборе материала трубопроводов, сооружаемых в районах с холодным климатом, кроме рабочих параметров должно учитываться (если это не исключено организационно-техническими мероприятиями) влияние низких температур при эксплуатации, монтаже, погрузочно-разгрузочных работах, хранении и транспортировке.

1.19. Проектирование ТЭЦ должно осуществляться, как правило, одновременно с проектированием магистральных тепловых сетей на основе утвержденной схемы теплоснабжения населенного пункта или промышленного района.

Существующие и сооружаемые в населенном пункте или промышленном районе котельные мощностью 100 Гкал/ч и более, расположенные в зоне действия существующих, сооружаемых и проектируемых ТЭС, как правило, должны использоваться для совместной работы с ТЭС в качестве пикового источника тепла.

1.20. Выбор системы теплоснабжения (открытая, закрытая, раздельная) производится Заказчиком совместно с проектной организацией в соответствии с положениями действующих нормативных документов по выбору типа системы теплоснабжения с учетом качества воды на основании технико-экономических расчетов с учетом степени обеспеченности исходной водой, возможности поддержания требуемого качества горячей воды у потребителей и санитарных требований.

1.21. Тепловые сети населенных пунктов не входят в состав промышленного строительства ТЭС и относятся к комплексу жилищного строительства.

1.22. Категории помещений и зданий (сооружений) ТЭС по взрывопожарной и пожарной опасности следует принимать по НПБ 105-03, ПБ-12-529-03 (раздел 8) и по ведомственному перечню помещений и зданий энергетических объектов с указанием категорий по взрывопожарной и пожарной опасности.

1.23. При проектировании ТЭС должны учитываться градостроительные условия строительства и характер окружающей застройки.

1.24. Проектирование зданий и сооружений ТЭС следует выполнять с учетом уровня их ответственности, устанавливаемого ГОСТ 27751. Уровень ответственности следует учитывать в расчетах несущих строительных конструкций, а также при определении требований к долговечности зданий и сооружений, номенклатуры и объема инженерных изысканий.

Отнесение объекта к конкретному уровню ответственности и выбор значений коэффициента надежности по ответственности производится генеральным проектировщиком по согласованию с заказчиком и указывается в техническом задании на проектирование.

Рекомендации по отнесению зданий и сооружений ТЭС к конкретным уровням ответственности приведены в приложении 3.

1.25. При проектировании ТЭС наряду с данными правилами следует руководствоваться требованиями соответствующих глав строительных норм и правил (СНиП), а также учитывать требования «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ) и других действующих норм.

1.26. Общие требования к проектированию тепловых электростанций с газотурбинными (ГТУ) и парогазовыми установками (ПГУ):

1.26.1. Выбор типа ПГУ производится с учетом электрических и тепловых нагрузок, режимов работы и видов топлива.

При использовании природного газа в качестве основного и резервного топлива преимущественно должны применяться утилизационные ПГУ с комбинированным циклом, а при использовании газа и жидкого топлива - ПГУ со сбросом газов в котел или с вытеснением регенерации.

1.26.2. Установленная мощность парогазовых КЭС с газотурбинными и конденсационными паротурбинными установками определяется как сумма мощностей паровых и газовых турбин при среднегодовых значениях температуры, давления, влажности воздуха и температуры охлаждающей воды.

Установленная мощность парогазовых ТЭС с газотурбинными и теплофикационными паротурбинными установками определяется как сумма мощностей паровых и газовых турбин при средней температуре отопительного периода, давления, влажности воздуха и соответствующей температуре охлаждающей воды.

В случае установки в составе ПГУ теплофикационных турбин с двойным значением мощности при определении установленной мощности или маркировки ПГУ принимается значение мощности в числителе.

Номинальная мощность ПГУ (для целей сравнения) определяется по сумме номинальных мощностей газовых и паровых турбин. При этом номинальная мощность

теплофикационной турбины принимается для теплофикационного режима с номинальным отпуском тепла.

1.26.3. Утилизационные и сбросные ПГУ должны, как правило, использоваться в базовом режиме работы в связи с их высокой экономичностью.

1.26.4. Технологическое оборудование ГТУ, используемое в открытом цикле, должно допускать возможность работы с пиковой мощностью.

1.26.5. В утилизационных ПГУ производительность и параметры пара паросиловой части специально не регулируются. Они определяются расходом и температурой газов за газовой турбиной.

С целью расширения диапазона частичных нагрузок ПГУ следует применять ГТУ с регулируемым входным направляющим аппаратом компрессора.

1.26.6. Оборудование ПГУ со сбросом газов от ГТУ в котел паросиловой установки должно обеспечивать:

- работу ПГУ в составе «ГТУ – энергетический котел – паровая турбина»;
- автономную работу паросиловой установки (котел – турбина);
- автономную работу ГТУ (при наличии байпасной трубы).

1.26.7. По просьбе Заказчика для пуска с нуля газотурбинных установок после их полного останова при системных авариях или чрезвычайных ситуациях предусматриваются дизель-генераторы или другие независимые источники электроэнергии.

При этом следует отдавать предпочтение полностью автономным газотурбинным установкам мощностью до 25 МВт, не требующим тиристорного пускового устройства.

1.26.8. В составе ПГУ, как правило, должны применяться газовые турбины, обеспечивающие достижение нормативных значений содержания окислов азота в уходящих газах при «сухой» камере сгорания. При невозможности выполнения этого требования необходимо предусматривать системы для снижения окислов азота путем впрыска в камеру сгорания ГТУ пара, воды или применение других специальных систем.

1.27. При комплектовании энергоблоков ПГУ и ПСУ оборудованием зарубежных поставщиков оно должно иметь согласование Госгортехнадзора РФ на возможность применения для установки на электростанциях России.

1.28. В настоящем Своде правил приняты следующие определения:

- слова «должен», «следует», «необходимо» и производные от них для обозначения обязательности выполнения требований Норм;
- слова «как правило» означает, что данное требование является преобладающим, а отступление от него должно быть обосновано;
- слово «допускается» означает, что данное решение принимается в виде исключения, как вынужденное (вследствие стесненных условий, ограниченных ресурсов, используемого оборудования, материалов и т.п.);
- слово «рекомендуется» означает, что данное решение является одним из лучших, но не обязательным.

## **2 ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ**

2.1 Для обоснования проектирования и строительства ТЭС выполняют инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрологические, инженерно-метеорологические и инженерно-экологические изыскания, сейсмологические исследования, изыскания местных грунтовых строительных материалов и источников технического и хозяйственно-питьевого водоснабжения.

2.2 Состав и объем инженерных изысканий для проектирования ТЭС определяются следующими основными факторами:

- стадией проектирования;
- степенью изученности природных условий территории и категорией

сложности;

- технической характеристикой зданий и сооружений ТЭС (уровень ответственности, предполагаемые тип и глубина заложения фундаментов, ожидаемые нагрузки на них и т.д.).

2.3 Инженерные изыскания выполняются по техническим заданиям Заказчиков, согласованными или составленными проектной организацией.

2.4 Инженерно-геодезические изыскания должны обеспечивать получение топографической и геодезической информации, необходимой для изучения природных и техногенных условий района строительства тепловых электрических станций, обоснования проектных решений строительства, при реконструкции зданий и сооружений, а также для обеспечения других видов изысканий (разбивка и привязка горных выработок, привязку точек геофизических профилей и т.п.).

Инженерно-геодезические изыскания для проектирования и реконструкции ТЭС проводятся в соответствии с требованиями СНиП 11-02-96, СП 11-104-97 и ведомственных нормативных документов по инженерным изысканиям ВСН 34.72.111-92 «Инженерные изыскания для проектирования тепловых электрических станций».

Масштабы инженерно-топографических планов необходимые на разных стадиях проектирования ТЭС приведены в приложении 6.

2.5 Инженерно-геологические изыскания должны обеспечивать изучение условий территории строительства ТЭС, внеплощадочных сооружений и коммуникаций.

Результаты инженерно-геологических изысканий должны содержать данные, необходимые для обоснованного выбора типа и глубины заложения фундаментов, определения их размеров, с учетом прогноза изменений инженерно-геологических условий и возможного развития опасных природных процессов и явлений.

2.6 Инженерно-геологические изыскания под проектируемые здания и сооружения проводятся в соответствии с требованиями СНиП 11-02-96, СП 11-105-97.

Инженерно-геологические изыскания на стадиях «ТЭО (проект)» и «рабочая документация» согласно требованиям ведомственных нормативных документов по инженерным изысканиям ВСН 34.72.111-92 «Инженерные изыскания для проектирования тепловых электрических станций» должны выполняться на участках следующих зданий и сооружений проектируемой (реконструируемой) ТЭС: главный корпус, дымовые трубы, градирни, береговые насосные и насосные технического водоснабжения, резервуары емкостью более 10 тыс. м<sup>3</sup>, шламонакопители, здания и сооружения химводоочистки, открытые распределительные устройства (ОРУ), эстакады топливоподачи, узлы пересыпки, дробильные и разгрузочные устройства, шлакозолоотвалы.

2.7 На участках размещения турбоагрегатов при необходимости должны быть выполнены лабораторные и полевые работы по исследованию виброустойчивости грунтов.

Исследованию на виброустойчивость подлежат пески средней плотности (кроме крупных) независимо от степени их влажности, пески мелкие и пылеватые, плотные, водонасыщенные, супеси пластичные.

Глубины отбора проб при фундаментах на естественном основании принимать согласно ВСН 34.72.111-92.

При свайных типах фундаментов исследованию грунтов на виброустойчивость подлежат грунты, залегающие ниже предполагаемой глубины погружения свай.

Исследования динамических, упругих и демпфирующих свойств грунтов могут проводиться с помощью сейсморазведки, испытаний штампами и лабораторных испытаний.

2.8 При размещении ТЭС в районах проявления опасных геологических

процессов (оползни, обвалы, карст и др.) следует предусматривать инженерную защиту территории, зданий и сооружений в соответствии с главой СНиП 2.01.15-90.

2.9 При проектировании ТЭС в сейсмических районах (сейсмичность площадки более 6 баллов) расчетную сейсмичность территории строительства в баллах по шкале MSK-64 определяют по картам общего сейсмического районирования территории РФ (ОСР-97). Как правило, расчетную сейсмичность территории строительства ТЭС следует принимать по карте В. По решению Заказчика расчетная сейсмичность может быть принята по карте С.

Сейсмичность конкретной площадки объекта строительства следует уточнять в соответствии с данными микросейсмораионирования и результатами комплексных инженерных изысканий, проводимых специализированными организациями.

Не допускается без специального обоснования сооружение ТЭС на площадках, сейсмичность которых превышает 9 баллов, и непосредственно на тектонически и сейсмически активных разломах. При расположении площадки ТЭС вблизи активных тектонических нарушений, связанных с очагами землетрясений, необходимо проведение геодинамического мониторинга с периодичностью, определяемой в процессе геофизических исследований.

2.10 Инженерно-экологические изыскания проводятся для оценки современного состояния и прогноза возможных изменений природной среды при строительстве и эксплуатации ТЭС. Инженерно-экологические изыскания для проектирования и реконструкции ТЭС выполняются в соответствии с требованиями СНиП 11-02-96 и СП 11-102-97. В состав инженерно-экологических изысканий должны входить: радиационно-экологические исследования, исследования химического загрязнения грунтов, газогеохимические исследования грунтов, исследования тепловых полей и т.д.

2.11 Для изучения изменений природных условий в процессе строительства и эксплуатации ТЭС в соответствии с ПТЭ должны быть разработаны проекты наблюдений за состоянием природной среды в процессе строительства и эксплуатации ТЭС:

- *проект наблюдений за деформациями оснований зданий и сооружений.* Наблюдения следует производить при всех грунтах основания за исключением скальных. Проект наблюдений за деформациями оснований следует разрабатывать в соответствии с указаниями ведомственных нормативных документов.

- *проект создания сети наблюдательных гидрогеологических скважин для контроля за режимом (уровненным, химическим и температурным) подземных вод.* Проект наблюдений за режимом подземных вод следует разрабатывать в соответствии с указаниями ведомственных нормативных документов

Указанные проекты разрабатывают проектные организации по отдельному заданию Заказчика.

2.12 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства ТЭС должны обеспечивать комплексное изучение гидрометеорологических условий территории (района, площадки, участка, трасс водоводов) строительства и прогноз возможных изменений этих условий в результате взаимодействия с проектируемым объектом с целью получения необходимых и достаточных материалов для принятия обоснованных проектных решений.

Материалы инженерно-гидрометеорологических изысканий должны обеспечивать решение следующих основных задач:

- выбор места расположения площадки и ее инженерную защиту от неблагоприятных гидрометеорологических воздействий;

- определение возможности обеспечения потребности в воде и организацию различных видов водопотребления и водопользования;

- разработку природоохранных мероприятий и др.

Инженерно-гидрометеорологические изыскания должны выполняться в соответствии с требованиями СНиП 11-02-96, СП 11-103-97, а также нормативных документов Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета), отраслевых министерств и системы стандартов в области охраны природы и улучшения природных ресурсов.

### **3 ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПЛАН**

#### **3.1 Размещение тепловой электростанции**

3.1.1 Тепловые электростанции надлежит размещать в соответствии с проектами планировки и застройки территорий с учетом возможности эффективного обеспечения потребителей электрической и тепловой энергией с обязательным учетом гидрологии района строительства и условий охраны окружающей среды.

При размещении ТЭС должны быть учтены возможности транспортировки топлива, условия водоснабжения, системные и межсистемные связи по линиям электропередачи.

3.1.2 При размещении ТЭС следует обеспечить рациональное и экономное использование земельных и водных ресурсов, наибольшую эффективность капитальных вложений, защиту населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

3.1.3 Промплощадки для размещения ТЭС следует выбирать с соблюдением Основ земельного, лесного, водного законодательств, Основ законодательств о здравоохранении, недрах, охране природной среды, других законов Российской Федерации.

3.1.4 При выборе площадки для строительства ТЭС следует учитывать возможность дальнейшего расширения электростанции, наличие транспортных коммуникаций, ценность занимаемых земель, наличие зон возможного затопления, сейсмических явлений, зон проявления опасных геологических процессов, загрязнения территорий органическими и радиоактивными отходами, а также курортов, заповедников, национальных парков, зон санитарной охраны источников водоснабжения.

3.1.5 Размещение ТЭС должно быть согласовано с местными органами власти и органами государственного надзора.

3.1.6 Планировочные отметки площадок ТЭС, размещаемых на прибрежных участках рек и водоемов должны приниматься согласно нормам СНиП по проектированию генеральных планов промышленных предприятий.

За расчетный горизонт надлежит принимать уровень с вероятностью его превышения один раз в 100 лет.

3.1.7 Расстояния от сооружений ТЭС до жилых и общественных зданий надлежит принимать:

- от открытой установки трансформаторов, градирен, компрессорных, очистных сооружений и др. в соответствии с санитарными нормами;
- от открытых распределительных устройств с воздушными выключателями в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок;
- от складов твердого и жидкого топлива, кислот, щелочей и других сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) в соответствии с действующими нормами.

#### **3.2 Размещение зданий и сооружений**

3.2.1 В пределах ограждаемой промплощадки ТЭС надлежит располагать главный корпус, здания и сооружения очистки дымовых газов, здания подсобных производств, растопочное мазутное и масляное хозяйства, корпус дробления топлива, открытые площадки установки ресиверов, открытую площадку установки трансформаторов, закрытое распределительное устройство (ЗРУ), пиковую водогрейную котельную, градирни, пункт подготовки газа, очистные сооружения



нефтедержащих сточных вод, обмывочных вод регенеративных воздухоподогревателей и котлов, вод химической очистки и консервации оборудования и прочих вод, содержащих вредные примеси.

Для размещения устройств автоматической охранной сигнализации следует предусматривать свободную от застройки зону с внутренней стороны ограждения шириной не менее 5 м.

3.2.2 Здания и сооружения ТЭС (ОРУ, насосные станции циркуляционного, противопожарного и питьевого водоснабжения, брызгальный бассейн и др.), расположенные вне промплощадки, должны быть ограждены.

3.2.3 Вне пределов промплощадки ТЭС следует располагать золошлакоотвалы, резервный склад угля, железнодорожные приемо-отправочные пути и связанные с ними разгрузочные устройства для топлива, склады мазута и дизельного топлива емкостью более 10000 м<sup>3</sup> при наземном и более 20000 м<sup>3</sup> при подземном хранении.

Указанные сооружения, за исключением золошлакоотвалов, могут размещаться на основной площадке, если площадь отведённых под строительство земель позволяет разместить их с соблюдением соответствующих норм.

Все указанные сооружения, за исключением золошлакоотвалов и железнодорожных приемо-отправочных путей, должны иметь ограждение.

3.2.4 Размещение зданий и сооружений ТЭС относительно сторон света и направления господствующих ветров осуществляется согласно требованиям норм по проектированию генеральных планов промышленных предприятий с учетом направления выдачи электрической мощности и расположения естественных и искусственных водоохладителей.

3.2.5 Брызгальные бассейны и градирни следует располагать по отношению к ОРУ и открытым площадкам установки трансформаторов с подветренной стороны.

Расстояния между водоохладительными установками и ОРУ принимаются согласно требованиям норм по проектированию генеральных планов промышленных предприятий с учетом загрязненности атмосферы и токопроводимости воды.

3.2.6 Расстояние в свету между башенными градирнями при их площади свыше 3200 м<sup>2</sup>, расположенными в одном ряду, должно приниматься равным 0,5, а между рядами - 0,75 диаметра градирни.

3.2.7 Расстояние от открытых площадок установок трансформаторов до открытых отводящих каналов водоснабжения должно быть не менее 5 м.

3.2.8 Наименьшее расстояние от ресиверов для горючих газов до зданий и сооружений ТЭС следует принимать в соответствии с требованиями норм по проектированию генеральных планов промышленных предприятий, как для газгольдеров постоянного объема. Расстояние от ресиверов с общим геометрическим объемом не более 500 м<sup>3</sup> до дымовых труб (независимо от их высоты) следует принимать, как до производственных и вспомогательных зданий в зависимости от их степени огнестойкости.

Расстояние между ресиверами, расположенными в группе, определяется в технологической части проекта из условия обеспечения монтажа, обслуживания и ремонта. Группа ресиверов должна состоять из ресиверов с одинаковым газом.

Расстояния между группами и отдельно стоящими ресиверами водорода и кислорода надлежит принимать не менее полусуммы диаметров двух смежных ресиверов, но не менее 5 метров.

Площадка для установки ресиверов должна иметь ограждение. Расстояние от ресиверов до ограждения должно быть не менее 5 м.

3.2.9 Здания и помещения ацетиленовых станций надлежит размещать в соответствии с требованиями норм по проектированию производства ацетилена для газопламенной обработки металлов.

3.2.10 Кислородные станции и распределительные установки надлежит

размещать в соответствии с требованиями норм по проектированию производств продуктов разделения воздуха.

3.2.11 Компрессорные станции надлежит размещать в соответствии с требованиями норм по проектированию стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов.

3.2.12 Склады твердого топлива, как правило, должны располагаться по отношению к главному корпусу и ОРУ с подветренной стороны.

Расстояние от крайних штабелей угля до ОРУ надлежит принимать: при подветренном расположении склада - 80 м, а при наветренном - 100 м.

3.2.13 При размещении складов мазута, нефти, масла и других легковоспламеняющихся и горючих жидкостей должны учитываться требования норм по проектированию складов нефти и нефтепродуктов и по проектированию генеральных планов промышленных предприятий.

3.2.14 Расходные склады сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) – серной и соляной кислот, аммиака, гидразина, хлора, размещаемые на площадке ТЭС, надлежит проектировать в соответствии со следующими требованиями:

а) расходные склады СДЯВ, кроме складов хлора, надлежит размещать в отдельных помещениях водоподготовительных устройств (ВПУ) и складов реагентов, в которых потребляются СДЯВ;

б) расходные склады хлора емкостью более 2 т следует размещать в отдельно стоящем здании.

Допускается размещение расходного склада хлора ёмкостью до 2 т в отдельном помещении хлораторной установки.

### **3.3 Размещение инженерных сетей**

3.3.1 Инженерные сети следует проектировать как единую коммуникационную систему, размещаемую в технических коридорах, обеспечивающих минимальный отвод участков территории и увязку со зданиями и сооружениями.

3.3.2 При размещении инженерных сетей следует учитывать требования норм и правил по проектированию генеральных планов промышленных предприятий, складов нефти и нефтепродуктов, водоснабжения, канализации, газоснабжения, тепловых сетей и «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ).

3.3.3 Инженерные сети, кроме сетей водопровода и канализации, трубопроводов систем пожаротушения следует, как правило, предусматривать наземными или надземными.

Трубопроводы серной и соляной кислоты, аммиака и аммиачной воды, гидразина и хлора должны предусматриваться только надземными.

3.3.4 Прокладка на площадке ТЭС трубопроводов с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями и газами, не относящимися к ТЭС, не допускается.

3.3.5 Запрещается прокладывать газопроводы на территории открытого распределительного устройства.

Расстояние от подземного газопровода (независимо от давления) до ограждения ОРУ должно быть не менее 5 м.

3.3.6 При подаче на ТЭС газа двумя независимыми газопроводами высокого давления расстояние между ними по всей длине должно быть не менее 30 м.

3.3.7 Газопроводы давлением до 5,0 МПа (50 кгс/см<sup>2</sup>) в пределах промплощадки ТЭС предусматриваются, как правило, надземными и могут прокладываться на эстакадах совместно с другими трубопроводами и кабелями с учетом требований норм по проектированию генеральных планов промышленных предприятий.

3.3.8 На территории ТЭС прокладку подземных сетей следует предусматривать вне пределов проезжей части автомобильных дорог и площадок с усовершенствованным покрытием. В стеснённых условиях допускается прокладка коммуникаций под проезжей частью автодорог с учётом нагрузок от транспорта.

3.3.9 При невозможности наземной или надземной прокладки трубопроводов кислорода, водорода и ацетилена допускается их подземная прокладка в траншеях.

При подземной прокладке трубопроводы кислорода, водорода и ацетилена должны быть заглублены не менее чем на 0,8 м в свету.

3.3.10 При пересечении подземных трубопроводов кислорода, водорода или ацетилена с другими подземными коммуникациями расстояние между ними по вертикали в свету должно быть не менее 0,1 м, а до электрических кабелей и кабелей связи - не менее 0,5 м.

3.3.11 Под штабелями твердого топлива не должна предусматриваться прокладка трубопроводов, водостоков, дренажных устройств, коммуникационных каналов и тоннелей, а также кабельных линий.

### **3.4 Вертикальная планировка**

3.4.1 Основные здания и сооружения ТЭС, имеющие значительную протяженность (главный корпус, открытое распределительное устройство), а также железнодорожные пути должны располагаться, как правило, параллельно горизонталям природного рельефа с учетом указаний п.3.2.4 настоящего раздела.

При уклоне естественного рельефа более 3% следует принимать террасную планировку.

3.4.2 Выбор оптимальных отметок планировки промплощадки ТЭС необходимо выполнять на основании технико-экономических расчетов по критерию минимума приведенных затрат на земляные работы, водопонижение, противофильтрационные мероприятия, пригруз и гидроизоляцию подземных частей зданий и сооружений, фундаментов и т.п., а также затрат на подачу охлаждающей воды в конденсаторы турбин главного корпуса. При этом должен учитываться прогноз изменения естественного режима грунтовых вод в процессе строительства и эксплуатации ТЭС.

При размещении ТЭС в прибрежных районах в соответствии с указанием п.3.1.6, когда требуется устройство насыпи с большим объемом земляных работ, допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании размещение складов угля или мазута на естественных отметках рельефа местности с сооружением защитных дамб от паводковых вод.

3.4.3 Вертикальная планировка территории промплощадки ТЭС выполняется согласно СНиП по проектированию генеральных планов промышленных предприятий.

3.4.4 Площадки складов твердого топлива должны быть защищены от затопления поверхностными и грунтовыми водами. Уклоны поверхности площадки склада надлежит принимать не менее 0,3%. Отметки планировки угольного склада должны быть выше прогнозируемого уровня грунтовых вод не менее чем на 0,5 м.

3.4.5 Промплощадка ТЭС должна быть благоустроена и озеленена согласно СНиП по проектированию генеральных планов промышленных предприятий.

## **4. ТРАНСПОРТНОЕ ХОЗЯЙСТВО**

4.1. Выбор вида транспорта для перевозки персонала ТЭС и грузов должен производиться на основании технико-экономического сопоставления вариантов с учетом оценки экологических и социальных последствий осуществления проекта.

4.2. Категории внешних подъездных железнодорожных путей и автомобильных дорог электростанций должны устанавливаться на основе технико-экономических обоснований в зависимости от характера и размеров перевозок, интенсивности движения и их значения в общей транспортной сети промышленного района.

4.3. Внешние и внутренние железнодорожные пути с комплексом служебно-технических зданий и сооружений на них надлежит проектировать в увязке работы транспорта с технологией и режимом работы основного производства ТЭС, погрузочно-разгрузочных устройств и складов, а также с работой станции примыкания, обеспечивая единый технологический процесс работы транспорта ТЭС и ведомственного железнодорожного транспорта.

4.4. Все объекты железнодорожного, автомобильного и других видов промышленного транспорта надлежит проектировать согласно требованиям соответствующих норм технологического проектирования на полное проектное развитие электростанции с учетом осуществления ее строительства и ввода в эксплуатацию пусковыми комплексами и очередями.

При проектировании железнодорожной станции ТЭС следует учитывать возможное ее расширение в перспективе (в увязке с генпланом) с учетом расширения электростанции до предельной мощности.

4.5. В зависимости от местных условий и планировочных решений генплана, технологическую схему углеразгрузочной станции ТЭС, располагаемой между пром-площадкой и угольным складом, следует принимать на основании технико-экономического сравнения вариантов размещения приемо-отправочного и технологического парков путей со стороны угольного склада и промплощадки.

4.6. Следует предусматривать возможное или целесообразное кооперирование с соседними предприятиями и организациями ведомственного железнодорожного транспорта по организации объединенных железнодорожных станций, подъездных путей, общих экипировочных устройств, локомотиво-вагонных депо и других сооружений транспортных хозяйств.

4.7. Выбор системы транспортного обслуживания определяется проектом и может осуществляться организациями ведомственного железнодорожного транспорта, объединенными железнодорожными хозяйствами промышленных предприятий или, в отдельных случаях, силами ТЭС.

Подъездные железнодорожные пути станции примыкания и ТЭС следует проектировать с учетом передачи их в ведение организациям ведомственного железнодорожного транспорта.

4.8. Необходимость сооружения подъездных железнодорожных путей для газомазутных электростанций при поступлении мазута по трубопроводам или водным транспортом должны определяться максимальным объемом перевозок грузов в периоды строительства и монтажа электростанции.

4.9. Полезные длины приемо-отправочных путей на станциях примыкания и железнодорожных станциях электростанций принимаются исходя из весовой нормы поездов и обращающегося подвижного состава к моменту ввода ТЭС в эксплуатацию с учетом возможности приема поездов перспективной весовой нормы, сформированных из перспективных вагонов.

В отдельных случаях, при соответствующем обосновании и согласовании с Управлением железной дороги, на железнодорожных станциях электростанций допускается сокращение полезных длин путей, но при условии обеспечения приема маршрута не более чем в две-три подачи.

4.10. Пропускная, провозная и перерабатывающая способность железнодорожного транспорта, определяемая на расчетный срок, должны соответствовать расчетным размерам движения с учетом неравномерности и иметь резерв не менее 15%.

За расчетный размер движения для электростанций принимается среднесуточный за год расход топлива для КЭС и среднесуточный за зимний расчетный период расход топлива для ТЭЦ при полной мощности электростанции.

Неравномерность перевозок учитывается коэффициентом неравномерности движения для маршрутных перевозок  $k=1,2$  и для отдельных подач и вагонов  $k=1,5$ .

4.11. Постоянные въезды железнодорожных путей в турбинное и котельное отделения предусматриваются только с временного торца главного корпуса. С постоянного торца главного корпуса и вдоль фронта установки трансформаторов предусматривается устройство путей перекачки трансформаторов. Для ТЭЦ допускается устройство путей перекачки трансформаторов со стороны временного

торца.

4.12. В генеральных планах расширения, реконструкции и технического перевооружения ТЭС транспортно-планировочные решения должны предусматривать возможность вывоза и завоза в машинное и котельное отделения существующего главного корпуса тяжеловесного оборудования железнодорожным транспортом или, в трудных условиях по согласованию с Заказчиком, автомобильным транспортом.

4.13. Пути перекачки трансформаторов должны выполняться в соответствии с согласованными техническими условиями завода изготовителя трансформаторов и, как правило, на горизонтальных участках. В исключительных случаях, по условиям вертикальной планировки, продольный уклон путей перекачки допускается не более 2%.

Переломы профиля при алгебраической разности уклонов более 8% должны сопрягаться вертикальными кривыми радиусом не более 1000 м.

Пути для перекачки трансформаторов на собственных катках следует проектировать, как правило, на шпалах. При перекачке тяжелых трансформаторов допускается на основании расчетов укладывать пути перекачки на железобетонных плитах.

4.14. Для надвига вагонов на вагоноопрокидыватели должны применяться электротолкатели или, в обоснованных случаях, локомотивы с дистанционным управлением.

Для откатки порожняка должны применяться специальные маневровые устройства.

Пути надвига и откатки вагонов должны быть ограждены в соответствии с требованиями техники безопасности.

4.15. Все поступающие на электростанцию вагоны с твердым и цистерны с жидким топливом должны взвешиваться. При этом следует применять весы, позволяющие производить взвешивание вагонов на ходу без остановки состава.

4.16. На электростанциях при невозможности кооперирования с другими предприятиями предусматривается сооружение экипировочно-ремонтного блока для локомотивов и механизмов угольного склада, или локомотивного депо для газомазутных электростанций. В случаях приобретения для электростанции парка специализированных вагонов должно предусматриваться локомотивно-вагонное депо.

На железнодорожной станции ТЭС должен быть предусмотрен необходимый комплекс служебно-технических зданий, сооружений и устройств соответствующих служб железнодорожного хозяйства.

Производство безотцепочного ремонта вагонов должно производиться на отправочных путях железнодорожной станции ТЭС, для чего должны быть предусмотрены стеллажи для хранения запасных частей, асфальтированные дорожки вдоль ремонтных путей для подвоза запасных частей при соответствующем увеличении расстояния между путями.

При необходимости, отправочные пути должны быть оборудованы устройствами опробования автотормозов.

Отцепочный ремонт должен производиться на специальном железнодорожном пути.

Железнодорожные пути станции, пути технического обслуживания подвижного состава, пассажирские платформы и переезды должны быть оснащены в соответствии с требованиями ведомственных (железнодорожного транспорта) норм.

4.17. В случае доставки топливных маршрутов непосредственно локомотивами организации железнодорожного транспорта подъездные пути электростанции, примыкающие к электрифицированным магистралям, и приемо-отправочные пути железнодорожной станции ТЭС должны быть электрифицированы.

Проект электрификации надлежит выполнить в соответствии с требованиями

ведомственных (железнодорожного транспорта) норм.

4.18. Выбор средств сигнализации и связи на подъездном пути, а также системы автоматики и телемеханики (СЦБ) на станциях определяется технико-экономическим расчетом.

Малодеятельные стрелки следует оставлять на ручном обслуживании.

4.19. При оборудовании железнодорожной станции ТЭС устройствами электрической централизации следует предусматривать взаимозависимость их работы с работой вагоноопрокидывателей.

4.20. Устройства электрической централизации, как правило, должны размещаться в специальных зданиях (постах централизации).

Для управления стрелками и сигналами станций должен предусматриваться, как правило, один пост централизации. Сооружение большего числа постов должно быть обосновано технико-экономическими расчетами.

Стрелочными переводами, определяющими выход электротолкателя для надвига вагонов, должен управлять только дежурный по железнодорожной станции с обязательным контролем положения электротолкателя и вагоноопрокидывателя.

4.21. Разгрузочные и размораживающие устройства должны быть оборудованы автоматической выездной и въездной световой и звуковой сигнализацией.

4.22. Трассы и основные параметры проектируемых автомобильных дорог выбираются на основе технико-экономического сравнения вариантов.

4.23. Автомобильные дороги проектируются с учетом полной проектной мощности ТЭС и очередности строительства. Конструкция дорожной одежды и ширина проезжей части выбирается в соответствии требованиями действующих норм, исходя из интенсивности движения и типов обращающихся автомобилей как в период строительства, так и при эксплуатации.

4.24. На площади у главного въезда на электростанцию предусматриваются площадки для стоянок общественного транспорта, а также личных автомобилей, мотоциклов, мотороллеров и велосипедов. Размеры площадок (вместимость) определяются в зависимости от численности эксплуатационного персонала.

В местах посадки (высадки) персонала ТЭС на общественный транспорт предусматриваются перроны прибытия и отправления с сооружениями для защиты людей от атмосферных осадков и ветра.

4.25. Внешние автомобильные дороги для обслуживания водозаборных и очистных сооружений, ОРУ, артскважин, золошлакопроводов, тепловых сетей, идущих от ТЭЦ, открытых отводящих и подводящих каналов и других линейных сооружений должны проектироваться на одну полосу движения с усовершенствованным покрытием облегченных типов или переходными типами покрытий на одну полосу движения шириной 4,5 м при ширине земляного полотна 8,5 м.

Подъездные автомобильные дороги к складам топлива, расположенным вне пределов основной площадки ТЭС, следует предусматривать с усовершенствованным облегченным покрытием.

4.26. Трассы и конструкции дорожных одежд постоянных автодорог должны назначаться с учетом возможности их использования на период строительства ТЭС.

4.27. План, продольный профиль и ширину проезжей части автомобильных дорог, по которым намечается транспортирование крупногабаритного тяжеловесного оборудования средствами спецавтотранспорта, надлежит определять расчетом, исходя из состава, габаритов и массы обращающихся спецавтопоездов и принятой схемы движения.

4.28. На электростанциях, как правило, предусматривается автогаражное хозяйство, мощность которого должна определяться на основании расчета потребности по номенклатуре автотранспортных и передвижных колесных средств

механизации для эксплуатационно-ремонтного обслуживания ТЭС.

4.29. При проектировании автомобильных и железных дорог в районах со сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями (вечная мерзлота, солончаки, оползни, подвижные пески и т.д.) необходимо руководствоваться соответствующими нормативными документами, а также научно-техническими разработками и накопленным опытом строительства в этих условиях.

## **5 ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **5.1 Тепловая схема**

5.1.1. Тепловая схема ТЭС является одной из основных схем электростанции и определяет ее уровень технического совершенства и тепловую экономичность. Схема дает представление о типе и принципе действия электростанции, характеризует сущность основного технологического процесса преобразования энергии газов за ГТУ и пара и тепла ПСУ.

5.1.2. При составлении тепловой схемы в первую очередь решаются вопросы выбора типа оборудования, мощности, параметров рабочих сред, позволяющих обеспечить наибольший экономический эффект.

5.1.3. Тип энергетической установки определяется характером потребителей, видом отпускаемой энергии, требуемой мощностью, размещением ее, видом топлива, перспективами роста и графиком нагрузки, экологическими условиями.

5.1.4. Технический прогресс в электроэнергетике развитых стран характеризуется следующими направлениями:

- создание высокоэкономичных энергоблоков с суперкритическими параметрами пара для работы по определенному графику нагрузки с возможностью более высокой степени автоматизации;

- использование ПГУ с различными схемами и технологическими процессами.

5.1.5. На конденсационных и теплофикационных электростанциях с преимущественно отопительной нагрузкой применяются блочные схемы ПГУ: «котел-утилизатор – паровая турбина».

На теплофикационных ТЭС с преобладающей паровой нагрузкой допускается применение схем с поперечными связями по пару и воде.

5.1.6. Для обеспечения собственных нужд ТЭС в тепловой схеме должны быть предусмотрены следующие основные магистрали:

- общестанционные магистрали пара соединяющие все блоки для обеспечения пусковых нужд блоков, подачи пара на уплотнения турбин при пуске;

- общестанционная магистраль для подачи пара на прочие станционные нужды (мазутослив, паровые спутники и т.д.);

- магистрали нормального и аварийного добавка обессоленной воды в цикл блока из баков запаса конденсата;

- магистраль подачи грязного конденсата из дренажных баков в бак грязного конденсата;

- промывочные магистрали, предназначенные для проведения предпусковых и технологических водных и кислотных промывок котла.

5.1.7. Схема должна предусматривать пуск блока из различных тепловых состояний оборудования.

Пуск блока из холодного состояния осуществляется на скользящих параметрах одновременно с растопкой котла и развороте турбины. Для этой цели устанавливаются пуско-сбросное устройство (ПСБУ) с быстродействующим электрическим приводом.

5.1.8. Для реализации режима пониженной нагрузки на блоке с двумя турбопитательными насосами (без резервного ПЭН) в качестве резервного источника питания ТПН следует предусматривать пар после БРОУ-ТПН.

5.1.9 Тепловая схема блочных электростанций должна обеспечивать возможность пуска блока на скользящих параметрах и из любого температурного

состояния котлоагрегата, трубопроводов и турбины с минимальными потерями тепла и конденсата при соблюдении графиков-заданий, а также деаэрацию питательной воды в процессе пуска.

5.1.10 Тепловая схема блоков должна обеспечивать все режимы, обусловленные требованиями к маневренным характеристикам блоков, и, как правило, возможность работы на скользящем давлении.

5.1.11 Для пуска первого блока на блочной электростанции предусматривается пуско-отопительная котельная или другие устройства, которые должны обеспечивать паром отопление зданий и пусковые операции, включая предпусковые очистки оборудования, деаэрацию питательной воды, разогрев мазута, приводные турбины вспомогательных механизмов при отсутствии пускорезервных агрегатов с электроприводами и другие пусковые нужды.

При отсутствии в составе блока пуско-резервного питательного электронасоса в пуско-отопительной котельной следует устанавливать котлы на параметры пара 4 МПа, 440°С для обеспечения пуска турбопитательных насосных агрегатов из горячего состояния.

Для теплоэлектроцентралей с котлами паропроизводительностью 500 т/ч и менее, а также неблочных конденсационных электростанций рекомендуется использовать в качестве пуско-отопительной временную котельную, сооружаемую для обслуживания строительно-монтажных работ, а также другие близлежащие источники пара и тепла.

5.1.12 Система пароснабжения собственных нужд блочных конденсационных электростанций должна обеспечивать одновременный пуск двух блоков, блочных теплофикационных - одного блока.

Система паропроводов собственных нужд, как правило, должна питаться паром из отборов турбин.

Система пароснабжения собственных нужд пиковых, полупиковых и других электростанций с повышенной мощностью должна проектироваться по специальному техническому заданию.

5.1.13 На конденсационных электростанциях, а также на ТЭС с малыми добавками воды в цикл, в качестве первой ступени деаэрации питательной воды, как правило, используются конденсаторы турбин.

5.1.14. На ТЭЦ с большими добавками воды в качестве первой ступени деаэрации подпиточной воды теплосети, как правило, применяются вакуумные деаэратеры.

5.1.15 На электростанциях должен создаваться дополнительный запас обессоленной воды в баках без давления, устанавливаемых вне зданий. На блочных электростанциях емкость баков принимается на 30 минут работы электростанции с максимальной нагрузкой. На остальных электростанциях - на 40 минут. Указанные емкости включают емкость для сбора загрязненного конденсата, а также должны обеспечивать подачу обессоленной воды для предпусковых водно-химических или парокси-слородных очисток. Баки должны иметь антикоррозионную и тепловую защиту.

Производительность и количество насосов, откачивающих воду из баков, должны обеспечивать аварийную и нормальную подпитку работающих блоков и одновременный пуск:

- на блочной КЭС - двух блоков;
- на блочной ТЭЦ - одного блока;
- на КЭС и ТЭЦ с поперечными связями - двух котлов наибольшей производительности.

Насосы устанавливаются без резерва в количестве не менее двух. Подача воды на подпитку должна предусматриваться по двум общестанционным магистралям.



5.1.16 На каждый блок предусматривается установка одного дренажного бака емкостью 15 м<sup>3</sup> с двумя насосами и регулятором уровня. Производительность каждого насоса выбирается по максимальному расходу дренажей. На неблочных электростанциях допускается установка одного такого бака на две-три турбины. Вода из дренажного бака должна подвергаться очистке для повторного ее использования в цикле.

5.1.17 На ТЭЦ подогрев сырой воды, поступающей на химводоочистку, для подпитки сетей с открытым водозабором осуществляется, как правило, в выделенных пучках конденсаторов теплофикационных турбин. Для ТЭЦ с ПГУ подогрев такой сетевой воды, кроме того, может быть осуществлен в теплообменниках за счет уходящих газов котлов-утилизаторов.

5.1.18 Тепловая схема ТЭЦ должна предусматривать наличие редуционно-охладительных установок (РОУ) для резервирования подачи пара на производство и собственных нужд с производительностью и параметрами пара равными отбору самой крупной турбины ТЭЦ. Схема должна обеспечивать поддержание этих РОУ в состоянии горячего резерва. Резервные РОУ на давление отопительных отборов не устанавливаются.

5.1.19 Для неблочных электростанций главные паропроводы выполняются по схеме с переключательной перемычкой, как правило, односторонней, секционированной задвижками.

Диаметр перемычки выбирается таким образом, чтобы при пропуске по ней пара к любой турбине от соседнего котла давление перед турбиной не падало ниже минимального предела, при котором обеспечивается номинальная мощность турбины.

Отключение котлов, турбин, турбонасосов и другого оборудования от работающей системы производится двумя последовательно установленными запорными органами.

Для электростанций с моноблоками при однобайпасной схеме запорные задвижки в системе промперегрева не устанавливаются и отключение промежуточных перегревателей для опрессовки производится задвижками или арматурой турбины.

## **5.2 Котельное отделение**

### **5.2.1 Котельные установки ТЭС с паровыми турбинами**

5.2.1.1 На конденсационных и теплофикационных электростанциях применяются, как правило, блочные схемы (котел-турбина).

На ТЭЦ с преобладающей паровой нагрузкой при соответствующем обосновании могут применяться схемы с поперечными связями.

5.2.1.2 Паровые котлы производительностью 160 т/ч и выше, а также водогрейные котлы производительностью 100 Гкал/ч и выше должны выполняться газоплотными.

Все пылеугольные котлы, а также газомазутные котлы производительностью выше 500 т/ч выполняются для работы под разрежением. Газомазутные котлы производительностью до 500 т/ч включительно выполняются преимущественно для работы под наддувом.

5.2.1.3 Паропроизводительность котельных агрегатов, устанавливаемых в блоке с турбоагрегатами, выбирается по максимальному пропуску острого пара через турбину с учетом расхода пара на собственные нужды.

Суммарная паропроизводительность котельных агрегатов, устанавливаемых на электростанциях с поперечными связями, должна быть не менее максимального расхода пара машинным залом с учетом максимального расхода пара на собственные нужды.

5.2.1.4 При работе котла на ухудшенном проектом топливе должны обеспечиваться номинальная нагрузка, номинальные параметры пара и нормативные значения удельных выбросов вредных веществ.

5.2.1.5 Для покрытия пиковых тепловых нагрузок на ТЭЦ применяются, как правило, специализированные пиковые котельные.

При использовании для пиковых котельных газомазутного топлива преимущественно должны применяться водогрейные котлы, присоединяемые к тепловым сетям непосредственно или через теплообменники. Способ присоединения выбирается на основании технико-экономических расчетов с учетом качества сетевой воды и надежности работы котла.

При использовании для пиковых котельных твердого топлива применяются паровые котлы низкого давления или водогрейные котлы с водоводяными теплообменниками на основе технико-экономического обоснования.

Теплопроизводительность и число пиковых водогрейных и паровых котлов низкого давления выбираются на основе технико-экономических расчетов исходя из условия покрытия 45-50% максимальной тепловой нагрузки отопления, вентиляции и горячего водоснабжения и покрытия 15-20% тепловой нагрузки в технологическом паре.

5.2.1.6 Теплопроизводительность и число пиковых водогрейных и паровых котлов низкого давления выбирается на основе технико-экономических расчетов, исходя из условия покрытия или, как правило, 45-50% максимальной тепловой нагрузки отопления, вентиляции и горячего водоснабжения и покрытия около 15-20% тепловой нагрузки в технологическом паре котлами низкого давления.

На электростанциях при выходе из работы одного энергетического блока, турбины или котла оставшееся в работе оборудование, включая пиковые котлы должны в течение ремонтно-восстановительного периода обеспечить:

- подачу 100% необходимого тепла потребителям первой категории (больницы, роддома, специальные производства и т.п.), если иные режимы не предусмотрены договором;

- подачу тепла на отопление и вентиляцию жилищно-коммунальным и промышленным потребителям второй и третьей категорий, (допускающие в течение не более 54 ч снижение температуры до 12°C – жилые и общественные здания и до 8°C – промышленные предприятия) и остальным потребителям, допускающим снижение объема выдачи тепла при расчетной для проектирования систем отопления температуре наружного воздуха:

- до 78% в районах с расчетной температурой отопления минус 10°C
- до 84% в районах с расчетной температурой минус 20°C
- до 87% в районах с расчетной температурой минус 30°C
- до 89% в районах с расчетной температурой минус 40°C
- до 91% в районах с расчетной температурой минус 50°C. На тепловых электростанциях с поперечными связями установка резервных энергетических котлов не предусматривается.

Для вновь сооружаемых ТЭЦ установка пиковых газомазутных водогрейных котлов преимущественно осуществляется в районах размещения тепловых потребителей.

5.2.1.7 Энергетические и пиковые котлы устанавливаются в бесподвальном помещении.

5.2.1.8 На энергетических и пиковых котлах предусматривается эффективная очистка поверхностей нагрева, обеспечивающая их надежную работу. Для газомазутных котлов предусматриваются сажеобдувочные аппараты.

Для котлов, работающих на твердых топливах, преимущественно должна применяться водяная очистка экранов топки.

5.2.1.9 Для ТЭС с докритическим давлением пара, а также для электростанций, работающих на морской воде, как правило, применяются барабанные котлы.

5.2.1.10 Для электростанций с пылевидным сжиганием твердого топлива,

независимо от вида топлива, как правило, применяется замкнутая индивидуальная система пылеприготовления. Применение разомкнутых схем пылеприготовления допускается при соответствующем обосновании.

5.2.1.11 При шаровых барабанных мельницах пылеприготовительная установка выполняется, как правило, по схеме с промежуточными бункерами. На котел паро-производительностью 400 т/ч и более устанавливается не менее двух мельниц. Для котлов меньшей паропроизводительностью, а также для водогрейных котлов мощностью 180 Гкал/ч и ниже допускается установка одной мельницы на котел. При этом в случаях, допускаемых правилами взрывобезопасности, осуществляется связь по бункерам пыли с соседними котлами. Производительность мельниц выбирается из расчета обеспечения 110% номинальной паропроизводительности (теплопроизводительности) котла при сжигании проектного топлива ухудшенного качества.

5.2.1.12 При среднеходных мельницах, мельницах-вентиляторах, а также молотковых мельницах пылеприготовительная установка, как правило, выполняется по схеме с прямым вдуванием. Применение пылевых бункеров при молотковых и сред-неходных мельницах допускается при соответствующем обосновании.

Количество мельниц в системах с прямым вдуванием выбирается:

- не менее трех для паровых котлов производительностью 400 т/ч и водогрейных котлов 100 Гкал/ч и более;
- не менее четырех для котлов 500-820 т/ч и не менее шести для котлов 1000 т/ч и более.

Производительность этих мельниц выбирается с расчетом, чтобы при остановке одной из них оставшиеся обеспечили при установленных трех мельницах – не менее 80% и при четырех и более мельницах не менее 100% номинальной производительности котла при работе на проектном топливе среднего состава.

5.2.1.13 Производительность питателей сырого угля принимается с коэффициентом запаса не менее 1,1 к производительности мельниц.

Производительность питателей пыли в схемах с промбункером выбирается из расчета обеспечения номинальной производительности котла при работе всех питателей с нагрузкой 70-75% их номинальной производительности.

Питатели сырого угля для пылесистем с прямым вдуванием и питатели пыли снабжаются электродвигателями с возможностью широкого регулирования числа оборотов (не менее 1:5).

5.2.1.14 Полезная емкость бункеров сырого топлива котельной принимается из расчета не менее:

- для каменных углей и АШ - 8-часового запаса по топливу с теплотворной способностью 4300 ккал/кг;
- для бурых углей - 5-часового запаса по топливу с теплотворной способностью 3000 ккал/кг;
- для сланцев и торфа - 3-часового запаса по топливу с теплотворной способностью 2000 ккал/кг;

Увеличение емкости бункеров допускается при соответствующем обосновании.

Полезная емкость бункера определяется с учетом угла естественного откоса в верхней части бункера, коэффициента заполнения бункера равного 0,9. Для систем с прямым вдуванием учитывается также несрабатываемая емкость, определяемая высотой в 2 м над выходным отверстием бункера.

Углы наклона стен бункеров к горизонту и минимальные размеры выходных отверстий бункеров принимаются:

- а) для углей с нормальными сыпучими свойствами (угол естественного откоса не более 60°) угол наклона стенок не менее 65°, размеры отверстия не менее 1,1 м во всех направлениях;

б) для углей с ухудшенными сыпучими свойствами (угол естественного откоса больше  $60^\circ$ ) угол наклона стенок не менее  $70^\circ$ , размеры отверстия не менее 1,6 м во всех направлениях;

в) для шлама, промпродукта и других углей, имеющих угол естественного откоса  $70^\circ$  и более - угол наклона стенок не менее  $75^\circ$  и размер отверстия не менее 1,8 м во всех направлениях.

Допускается применять меньшие размеры выходного отверстия бункеров в зависимости от конструкции и размеров питателей угля и производительности мельниц при сохранении площади выходных отверстий.

Внутренние грани углов бункеров закругляются или перекрываются плоскостью.

Бункера сырого угля и торфа котельной при соответствующем обосновании снабжаются пневмообрушителями.

5.2.1.15 Полезная емкость промежуточных бункеров пыли в котельной должна обеспечить не менее 2-2,5-часового запаса номинальной потребности котла, сверх «несрабатываемой» емкости бункера, необходимой для надежной работы пылепитателей.

5.2.1.16 Характеристики дымососов и вентиляторов выбираются с учетом запаса по производительности и напору. Для дутьевых вентиляторов и основных дымососов запас по производительности должен быть 10%, запас по напору – 20%.

Для дымососов рециркуляции газов и вентиляторов рециркулирующего воздуха запас по производительности должен быть 5%, запас по напору - 10%.

Указанные запасы включают также необходимые резервы в характеристиках машин для целей регулирования нагрузки котла. При номинальной нагрузке котла и нормативных запасах по производительности и напору КПД тягодутьевых машин должен быть не менее 90% от максимального значения.

5.2.1.17 Для газомазутных котлов паропроизводительностью 500 т/ч и менее, для пылеугольных котлов паропроизводительностью 220 т/ч и менее, для водогрейных котлов теплопроизводительностью 180 Гкал/ч и менее, а также для каждого котла дубль-блока устанавливается один дымосос и один дутьевой вентилятор. Установка двух дымососов и двух вентиляторов в этом случае допускается только при соответствующем обосновании.

При установке на котел двух дымососов и двух дутьевых вентиляторов производительность каждого из них выбирается не менее 50%. Для котлов с жидким шлакоудалением, в случае работы одного дымососа или одного дутьевого вентилятора должна быть обеспечена нагрузка котла не менее 70%.

5.2.1.18 Для регулирования работы центробежных дымососов и дутьевых вентиляторов котлов применяются направляющие аппараты с поворотными лопатками в сочетании с двухскоростными электродвигателями и при технико-экономическом обосновании - регулируемый электропривод. Для привода вентиляторов, подающих воздух в среднеходные и молотковые мельницы в пылесистемах с прямым вдуванием, применяются односкоростные электродвигатели.

Для регулирования осевых дымососов и вентиляторов, как правило, применяются направляющие аппараты в сочетании с односкоростными электродвигателями. Установка двухскоростных электродвигателей допускается при соответствующем обосновании.

5.2.1.19 Открытая установка дымососов и дутьевых вентиляторов применяется для электростанций, работающих на твердом, жидком или газообразном топливе в районах с расчетной температурой наружного воздуха для отопления выше минус  $30^\circ\text{C}$ .

Воздуходувки с турбоприводами устанавливаются в закрытых помещениях.

Открытая установка вынесенных трубчатых и регенеративных

воздухоподогревателей применяется в климатических районах с расчетной температурой наружного воздуха для отопления выше минус 30°C.

5.2.1.20 При сжигании сернистых топлив предусматриваются мероприятия и устройства для защиты поверхностей нагрева котлов и газоходов от коррозии.

При установке на ТЭЦ водогрейных котлов, для которых в качестве основного или резервного выделено топливо с приведенным содержанием серы более или равным 0,1%, температура сетевой воды на входе в котел должна быть не ниже 110°C.

5.2.1.21 Для уборки пыли в помещениях котельной пылеугольных электростанций предусматривается пневматическая всасывающая система с разводкой трубопроводов, а для уборки полов система гидросмыва.

5.2.1.22 В котельном отделении электростанций следует предусматривать стенд для тарировки форсунок.

5.2.1.23 При проектировании котельных следует учитывать требования действующих норм и правил пожарной безопасности.

## **5.2.2 Золоулавливание**

5.2.2.1 Все котлоагрегаты, сжигающие твердое топливо, оборудуются золо-улавливающими установками.

Степень золоулавливания принимается в зависимости от тепловой мощности котла, приведенной зольности топлива и исходя из необходимости обеспечения нормативов удельных выбросов твердых частиц в атмосферу.

Эффективность золоулавливания проверяется при условии соблюдения норматива ПДВ.

5.2.2.2 В качестве золоуловителей для очистки газов со степенью 99% и выше должны приниматься, как правило, электрофильтры.

При техническом перевооружении электростанций с мокрыми золоуловителями допускается их замена на аналогичные установки со степенью очистки не менее 99%.

Применение золоуловителей других типов допускается при соответствующем обосновании.

5.2.2.3 Высота дымовых труб выбирается в соответствии с утвержденной методикой расчета рассеивания выбросов в атмосфере.

5.2.2.4 Открытая компоновка сухих золоуловителей применяется в районах с расчетной температурой отопления выше минус 30°C. При этом обязательно должны быть закрыты и утеплены подбункерное помещение, зоны обслуживания механизмов встряхивания и изоляторных коробок электрофильтров и сопел орошения мокрых золоуловителей. В районах с расчетной температурой отопления минус 20 и ниже мокрые золоуловители устанавливаются в помещении.

Золоуловители с сухой системой эвакуации цементирующейся золы из бункеров снабжаются системой предпускового подогрева.

5.2.2.5 Система газоходов перед и после золоуловителей, а также их компоновка, должны обеспечивать равномерную раздачу дымовых газов по аппаратам при минимальном сопротивлении газового тракта. При проектировании новых котельных агрегатов с установкой в качестве золоуловителей электрофильтров необходимо выполнять аэродинамические исследования на моделях профилей и конфигураций газоходов перед и после золоуловителей с целью оптимизации скоростей и равномерности распределения газов в электрофильтрах.

На газоходах при подключении к дымовой трубе двух и более котлов после электрофильтров (дымососов) необходимо предусматривать возможность установки отглушающих устройств для отключения электрофильтров (дымососов) на период ремонта.

На газоходах каждого золоуловителя по заданию организации, их проектирующей, предусматриваются мерный участок, оснастка и площадка для

контроля эффективности золоуловителей.

5.2.2.6 Если температура и влагосодержание дымовых газов за котлом не обеспечивают необходимых для эффективной работы электрофильтров благоприятных электрофизических свойств золы, требуемые температура и влагосодержание газов достигается устройством специальных установок перед электрофильтрами, включая специальные типы агрегатов питания.

5.2.2.7 Высоковольтные агрегаты питания электрофильтров размещаются в специальном помещении.

Электрофильтры оснащаются резервными высоковольтными агрегатами питания в количестве 10% от числа задействованных агрегатов и двумя резервными мотор-редукторами встряхивания коронирующих и осадительных электродов.

5.2.2.8 Не допускается сброс в бункеры электрофильтров воздуха или газов из системы аспирации, дробеочистки и др. Сброс сушильного агента из разомкнутой системы пылеприготовления в дымовые газы перед электрофильтром запрещается.

5.2.2.9 Электрофильтры должны иметь теплоизоляцию и систему обогрева нижней части бункеров, обеспечивающие температуру стенки бункеров не менее чем на 15°C выше точки росы дымовых газов по водяным парам.

5.2.2.10 Температура дымовых газов за мокрыми золоуловителями при любых режимах работы котла должна быть не менее чем на 15°C выше точки росы дымовых газов.

5.2.2.11 Электрофильтры оборудуются системами сбора сухой золы. Под бункерами золоуловителей устанавливаются устройства, исключаящие присосы воздуха в бункеры. Эти устройства должны обеспечивать нормальную работу систем сухого и мокрого золоудаления с учетом режимов встряхивания осадительных электродов. Стенки бункеров золы должны быть защищены с внутренней стороны и иметь угол наклона не менее 55°. Течки для удаления сухой золы должны, как правило, выполняться вертикальными, минимальный угол должен быть не менее 55°.

По мере освоения промышленностью золоуловители должны комплектоваться приборами сигнализации минимального и максимального уровня золы в бункерах.

5.2.2.12 При проектировании ТЭС на мазуте в каждом конкретном случае должен рассматриваться вопрос целесообразности золоулавливающей установки.

5.2.2.13 Двухъярусные электрофильтры комплектуются резервом отдельно по ярусам.

5.2.2.14 При установке электрофильтров следует предусматривать запасы по расходу газов (10%) и степени очистки от золы (одно резервное поле).

5.2.2.15 При проектировании новых электростанций или расширении действующих должны применяться электрофильтры со скоростью газов в активном сечении не выше 1 м/с.

### **5.2.3 Внутростанционное золошлакоудаление**

5.2.3.1 Внутростанционное удаление золы и шлака осуществляется отдельным.

При наличии на ТЭС сухих золоуловителей принимается, как правило, внутри-станционное пневматическое золоудаление, при котором зола из-под золоуловителей собирается гравитационными течками или пневмосистемами в промбункер или к установке внешнего пневмотранспорта. Далее сухая зола транспортируется на склад, откуда подается в узлы смешения и в виде пульпы высокого насыщения направляется в приямок насосных станций. При наличии потребителей зола выдается в транспортные средства со склада или, при соответствующем обосновании, непосредственно из промбункеров. При этом внутростанционное пневматическое золоудаление не резервируется системами гидравлического удаления золы.

При мокрых золоуловителях принимается гидравлическое удаление золы и шлака в насосную станцию или эрлифтную установку.

При соответствующем обосновании могут применяться и другие способы внутреннего золошлакоудаления.

5.2.3.2 Производительность систем золошлакоудаления принимается по проектному топливу ухудшенного качества с максимально-часовым выходом золошла-ков.

5.2.3.3 Шлаковые и золовые каналы в пределах площадки ТЭС, включая расположенные в насосной станции, принимаются, как правило, отдельными.

Шлаковые каналы при твердом шлакоудалении выполняются с уклоном не менее 1,5%, а при жидком шлакоудалении - не менее 1,8%. Золовые каналы выполняются с уклоном не менее 1%.

Каналы, как правило, выполняются железобетонными с облицовкой из камне-литных изделий. По длине каналов устанавливаются побудительные сопла. Каналы должны быть перекрыты легкоъемными конструкциями на уровне пола.

Для сильно цементирующейся золы с содержанием окислов кальция более 20% (сланцы, торф, канско-ачинские угли и др.) золовые каналы должны быть минимально возможной протяженности и рекомендуется облицовывать их лотками из стальных труб и листов.

5.2.3.4 При гидравлическом золошлакоудалении багерная насосная (эрлифтная) станция располагается в котельном отделении. В случае невозможности расположения насосной в главном корпусе при соответствующем обосновании допускается располагать багерную насосную за пределами главного корпуса. При этом подземные каналы высотой более 1,8 м должны прокладываться в проходном тоннеле и оборудоваться освещением, вентиляцией и пешеходным настилом.

При пневматических способах сбора и удаления золы багерная насосная станция и узел приготовления пульпы размещаются непосредственно у склада сухой золы.

На всасе багерных насосов предусматривается приемная емкость не менее чем на две минуты работы насоса для насосной, расположенной в главном корпусе или у склада сухой золы, и не менее трех минут - для выносной багерной насосной. Емкость подводящих каналов при этом не учитывается.

Предусматривается прием и удаление пульпы из восходящих ветвей золопро-водов при их выводе в резерв или ремонт.

5.2.3.5 К одной багерной насосной должны подсоединяться, как правило, шесть котлов паропроизводительностью 320-500 т/ч, четыре котла по 640-1000 т/ч, два котла по 1650-2650 т/ч.

5.2.3.6 Насосное оборудование систем золошлакоудаления принимается по возможности крупных типоразмеров. Насосы орошающей, смывной, эжектирующей, уплотняющей воды устанавливаются с одним резервным агрегатом в каждой группе насосов.

Багерные насосы для шлаковой и золошлаковой пульпы устанавливаются с одним резервным и одним ремонтным агрегатом в каждой насосной станции.

При опасности образования в системе минеральных отложений в каждой группе насосов (кроме багерных и шламовых) устанавливается по одному дополнительному насосу и 100%-ное резервирование коммуникаций для возможности проведения периодических очисток.

При необходимости перекачки шлаковой пульпы несколькими ступенями ба-герных и шламовых насосов в одной насосной станции устанавливается 2 ступени насосов по согласованию с заводами-изготовителями.

При транспорте золошлаковой пульпы эрлифтными установками в каждой их группе предусматривается один резервный эрлифт.

Подача воздуха к эрлифтам выполняется по схеме «нагнетатель-эрлифт».

Нагнетатели располагаются в выгороженном месте главного корпуса или, при соответствующем обосновании, в отдельном здании. В каждой их группе

предусматривается один резервный нагнетатель.

5.2.3.7 Подачу смывной (оборотной осветленной) воды следует предусматривать по секционированной кольцевой схеме. Питание системы шлакоудаления и системы золоудаления каждого блока или котла осуществляется отдельными коллекторами, присоединенными к секционированному кольцу. Ветви кольца соединяются перемычками, от которых питаются общестанционные потребители.

5.2.3.8 При рН осветленной воды 10,0 и выше не допускается смешение ее с технической подпиточной водой. В этом случае подпиточная вода направляется непосредственно в золоотвал или рассредоточено по времени вводится в приемный бункер багерных насосов.

5.2.3.9 Шлакодробилки, как правило, устанавливаются под котлами. Установка шлакодробилок в багерной насосной предусматривается при необходимости получения более мелких фракций шлака по условиям применения на золошлакоотвале рассредоточенного намыва.

5.2.3.10 При проектировании электростанций необходимо предусматривать возможность сбора и выдачи золошлаков потребителям. Следует проектировать устройства для выдачи золы и шлака при условии включения их в техническое задание и предоставления Заказчиком необходимых исходных данных для проектирования.

5.2.3.11 Для сбора сухой золы в промбункер и транспорта ее на склад принимаются гравитационные течи, пневмосистемы с аэрожелобами и пневмоподъемниками, вакуумные системы, низконапорные трубные системы. При приведенной длине транспорта до склада от 200 до 1000 м применяются напорные пневмосистемы с пневмовинтовыми или камерными насосами. В каждой группе насосов должны быть предусмотрены один резервный и один ремонтный агрегат.

Склад сухой золы для выдачи ее потребителям принимается емкостью полутора-двухсуточного запаса при среднегодовом выходе золы.

5.2.3.12 При необходимости выдачи шлака потребителям предусматриваются гидравлические системы с закрытым трехсекционным шлакоотстойником, системы с намывом шлака в бурты или в расходные отвалы.

Шлакоотстойник выполняется железобетонным, с дренируемым основанием. Емкость одной секции отстойника принимается не менее суточного запаса и отстоя шлака.

5.2.3.13 По заданию и исходным данным Заказчика проектируются специальные установки по выдаче потребителям классифицированных золошлаков, по домолу сухой золы, по извлечению ферросилиция, получению золошлакогранулята и т.д.

## **5.2.4 Котельные установки ТЭС с парогазовыми установками**

5.2.4.1 В парогазовых установках утилизационного типа применяются, как правило, котлы-утилизаторы без дополнительного сжигания топлива. Применение котлов-утилизаторов с дожиганием топлива перед ними допускается при соответствующем обосновании.

5.2.4.2 В утилизационных ПГУ число независимых котлов-утилизаторов должно соответствовать числу газовых турбин в составе ПГУ.

5.2.4.3 В ПГУ утилизационного типа, как правило, должны применяться барабанные котлы-утилизаторы с естественной или принудительной циркуляцией воды с одним или несколькими контурами давлений пара. Применение прямоточных котлов-утилизаторов допускается при соответствующем обосновании.

5.2.4.4 Регулирование паропроизводительности и параметров пара в котлах-утилизаторах, как правило, не предусматривается. При необходимости снижения температуры пара перед паровой турбиной допускается использование впрыска питательной воды.



5.2.4.5 Параметры пара и паропроизводительность котла-утилизатора в основном расчетном режиме определяются в зависимости от климатических условий района размещения ТЭС и соответствующих значениях расхода и температуры газов, поступающих от ГТУ.

5.2.4.6 Котлы-утилизаторы должны обеспечивать работу при изменении расхода и температуры газов, поступающих от газовой турбины, обусловленных изменением температуры наружного воздуха от максимальной до минимальной в районе ТЭС.

5.2.4.7 Передача тепла сетевой воде от газодводяных теплообменников, установленных за ГТУ или в паровом котле-утилизаторе, должна осуществляться через промежуточный контур, в котором циркулирует обессоленная вода или конденсат.

5.2.4.8 Котлы-утилизаторы выполняются газоплотными для работы под наддувом без дымососов.

5.2.4.9 Установка байпасной трубы перед котлом-утилизатором или байпасного газохода в утилизационных ПГУ, как правило, не предусматривается. Байпасная труба или газоход могут выполняться по заданию Заказчика при соответствующем обосновании.

5.2.4.10 Конструкция и тепловая схема котла-утилизатора должны обеспечивать его работу с минимально возможной температурой уходящих газов.

Разность температур «газы-вода» в конце зоны испарения не должна превышать 10-15°C.

5.2.4.11 При работе ПГУ на основном и резервном топливе температура воды (конденсата) на входе в котел-утилизатор должна превышать на 10-15°C температуру конденсации водяных паров в уходящих газах.

5.2.4.12 Поверхности нагрева котла-утилизатора должны выполняться из труб с наружным оребрением.

Поверхности нагрева и трубопроводы должны быть дренируемыми.

5.2.4.13 В конструкции котла-утилизатора предусматриваются мероприятия и устройства для снижения уровня шума до санитарных норм, включая установку шумоглушителей на входе или на выходе газов.

5.2.4.14 Котлы-утилизаторы устанавливаются, как правило, в бесподвальном помещении. Допускается установка с заглублением в грунт баков слива воды из поверхностей нагрева и трубопроводов.

5.2.4.15 Для ПГУ, сооружаемых в районах с расчетной температурой наружного воздуха для отопления -20°C и выше, допускается открытая установка котлов-утилизаторов, спроектированных с учетом климатических условий.

5.2.4.16 Котел и вспомогательное оборудование в сбросной ПГУ должны допускать работу при изменении температур наружного воздуха в районе ТЭС от минимальной до максимальной.

5.2.4.17 В составе сбросной ПГУ предусматривается, как правило, байпасный газоход с установкой быстродействующих предохранительных клапанов со сбросом газов в атмосферу.

## **5.3 Турбинное отделение**

### **5.3.1 Паротурбинные установки**

5.3.1.1 Единичная мощность турбоагрегатов конденсационных блоков на электростанциях выбирается на основе технико-экономического анализа с учетом величины аварийного резерва, а также перспективного развития.

5.3.1.2 Единичная мощность паровой турбины для утилизационной ПГУ выбирается исходя из паровой производительности котла-утилизатора.

5.3.1.3 Единичная мощность и тип теплофикационных агрегатов на ТЭС выбирается на основе технико-экономического анализа и с учетом перспективного роста тепловых нагрузок.

5.3.1.4 Турбины с производственным отбором пара выбираются с учетом

длительного использования этого отбора в течение года.

Турбина с противодавлением выбирается для покрытия базовой части производственной паровой и отопительной нагрузок.

В схеме трубопроводов ТЭЦ предусматривается возможность осуществления мероприятий по максимальной загрузке противодавленческих турбин за счет суточного, недельного и сезонного сокращения производственных и отопительных отборов у теплофикационных турбин.

Для изолированных электростанций выбор агрегатов производится таким образом, чтобы при останове одного из них оставшиеся обеспечили покрытие электрических нагрузок с учетом допускаемого потребителями регулирования.

5.3.1.5 При установке турбин с двойным значением мощности (типа Т и ПТ) установленная электрическая мощность паросиловых ТЭЦ определяется значением мощности в числителе.

Технико-экономические показатели ТЭЦ определяются в соответствии с графиком тепловых и электрических нагрузок.

5.3.1.6 Количество и производительность питательных насосов должны соответствовать нижеуказанным нормам.

5.3.1.6.1 Для электростанций с блочными схемами:

5.3.1.6.1.1 Производительность питательных насосов определяется максимальными расходами питательной воды на питание котлов с запасом не менее 5%.

5.3.1.6.1.2 На конденсационных блоках с давлением пара  $\leq 13$  МПа (130 кгс/см<sup>2</sup>) на каждый блок устанавливается, как правило, один питательный насос производительностью по 100%. На складе предусматривается один резервный насос для всей электростанции.

5.3.1.6.1.3 На теплофикационных блоках с давлением пара  $\leq 13$  МПа (130 кгс/см<sup>2</sup>) на каждый блок устанавливается, как правило, два питательных насоса производительностью по 50%. На складе предусматривается один резервный насос для всей электростанции.

Питательные насосы принимаются с электроприводами, которые должны, как правило, комплектоваться устройствами для плавного регулирования напора и производительности (гидромуфтами, регулируемыми электроприводами), обеспечивающими пусковые режимы и работу блоков на частичных нагрузках с минимальными потерями.

5.3.1.6.1.4 На блоках с закритическими параметрами могут устанавливаться питательные насосы с турбоприводом или с электроприводом и устройством для регулирования частоты вращения.

При установке турбонасосов блоки комплектуются одним насосом производительностью 100% или двумя по 50%. При установке на блок одного турбонасоса производительностью 100% дополнительно устанавливается насос с электроприводом и гидромуфтой или регулируемым электроприводом производительностью 30-50%. На блоках с турбинами типа Т допускается установка одного питательного электронасоса производительностью 100%.

При установке на блок двух турбонасосов производительностью по 50% насос с электроприводом не устанавливается. К турбонасосам предусматривается резервный подвод пара. Вспомогательные системы питательных турбонасосов и основной турбины, как правило, должны быть общими. При установке на блоке электронасосов их количество должно быть не менее двух.

5.3.1.6.2 Для электростанций с общими питательными трубопроводами:

5.3.1.6.2.1 На электростанциях, включенных в территориальные энергетические объединения, суммарная производительность всех питательных насосов должна обеспечивать номинальную производительность всех установленных котлов с запасом

не менее 5%. Резервные питательные насосы предусматриваются на складе (один насос на каждый тип насосов, установленных на электростанции).

Для возможности регулирования сезонных и суточных нагрузок целесообразно предусматривать регулирование частоты вращения у части питательных насосов или установку одного питательного насоса малой производительности:

5.3.1.6.2.2 На электростанциях, не включенных в территориальные энергетические объединения, суммарная производительность питательных насосов должна обеспечивать работу всех установленных котлов при номинальной паропроизводительности. Кроме того, должно устанавливаться не менее двух резервных питательных насосов с паровым приводом или электроприводом, имеющим независимое питание.

5.3.1.6.2.3 Допускается применение турбонасосов в качестве основных, постоянно работающих питательных насосов с установкой, по крайней мере, одного питательного насоса с электроприводом для пуска электростанции с нуля.

При наличии бустерных насосов, оснащенных обратными клапанами на нагнетании, а также при применении бездеаэрационной схемы, всасывающий коллектор основного насоса должен быть защищен от недопустимого повышения давления вследствие возможного поступления в него воды через обратные клапаны основных питательных насосов.

5.3.1.7 Конденсаторы турбин при необходимости должны оснащаться системами очистки трубок эластичными шариками и фильтрами предочистки.

5.3.1.8 Суммарная производительность деаэрационных установок питательной воды выбирается по ее максимальному расходу на котлы.

5.3.1.9 На каждый блок устанавливается по возможности один деаэрактор. Допускается для энергоблоков с ПГУ применение интегрированных (встроенных в барабан котла-утилизатора) деаэракторов.

5.3.1.10 На неблочных электростанциях должна обеспечиваться возможность ремонта любого деаэрактора при работе остальных.

5.3.1.11 Тепловая мощность деаэракторов блочной установки выбирается исходя из обеспечения работы блока в номинальном режиме, при сбросах нагрузки до величины собственных нужд и холостого хода (с учетом минимальной производительности котла) и при пусках. При сбросах нагрузки и пусках допускается снижение давления в деаэракторах до атмосферного.

5.3.1.12 Максимальный объем воды в баках следует принимать равным 85% их геометрического объема, минимальный - определяется по уровню выше кромки сливных штуцеров на величину диаметра штуцера. Максимальный объем должен не менее чем в 2 раза превышать величину изменения массового заполнения котла в диапазоне нагрузок от максимальной до технического минимума.

Емкость деаэракторов и геометрические характеристики тракта от деаэрактора до питательных насосов должны уточняться исходя из исключения срыва питательных насосов в режиме сброса полной нагрузки блока до нагрузки с холостым ходом турбины. При повторном применении проектов деаэрационно-питательных установок такого уточнения не требуется.

5.3.1.13 Суммарный запас питательной воды в баках основных деаэракторов должен обеспечивать работу блочных электростанций в течение не менее 3,5 минут и для неблочных электростанций - 7 минут. Соппротивление тракта от деаэрактора до всаса питательных насосов не должно превышать 10 кПа (1 м вод.ст.).

5.3.1.14 Деаэрации подлежат все потоки воды, поступающие в питательный тракт.

5.3.1.15 К основным деаэраторам, подключенным непосредственно к отборам турбины, предусматривается подвод резервного пара для удержания в них давления при сбросах нагрузки и деаэрации воды при пусках.

5.3.1.16 При работе деаэратора на скользящем давлении подача пара должна предусматриваться от отбора турбины или коллектора собственных нужд блока.

5.3.1.17 На линии подвода пара к деаэратору предусматривается установка регулирующего клапана. Для энергоблоков 500 МВт и выше, а также при применении двухбайпасной пусковой схемы, допускается установка пускового регулирующего клапана на подаче греющего пара.

5.3.1.18 При установке двух и более деаэрационных колонок должно быть обеспечено симметричное распределение гидравлических и тепловых нагрузок по колонкам.

5.3.1.19 Тепло выпара деаэраторов питательной воды по возможности должно использоваться в тепловой схеме станции.

5.3.1.20 В проекте должно быть приняты меры по предотвращению присосов кислорода в конденсатных насосах и конденсатном тракте путем применения рациональных схем вакуумной части конденсатного тракта, а также соответствующего типа арматуры и фланцевых соединений.

5.3.1.21 Конденсатные насосы для сетевых подогревателей, располагаемых в машзалах, при двухступенчатом подогреве выбираются с резервным насосом у первой ступени подогрева. При одноступенчатом подогреве устанавливаются только рабочие насосы, но не менее двух с производительностью каждого около 70% от номинальной.

5.3.1.22 На блочных конденсационных и теплофикационных электростанциях со сверхкритическими параметрами пара могут применяться бездеаэрационные тепловые схемы энергоблока с организацией нейтрально-кислородного водного режима.

Для исключения интенсификации низкотемпературной коррозии, сажеобразованья и загрязнения поверхностей нагрева котла при пусках в схеме регенерации турбины должна предусматриваться возможность подогрева пускового расхода конденсата не менее чем до 70°C.

5.3.1.23 Для неблочных электростанций всасывающая магистраль, напорная магистраль питательных насосов перед подогревателями высокого давления и напорная питательная магистраль в котельной выполняется одинарными с секционирующими задвижками.

5.3.1.24 При проектировании трубопроводов, включая трубопроводы малых диаметров, их прокладка производится с учетом кабельной раскладки.

5.3.1.25 Не допускается применение чугунной арматуры:

- на газопроводах горючего газа, мазутопроводах и маслопроводах;
- на трубопроводах воды и пара с температурой выше 115°C;
- на трубопроводах от атмосферных деаэраторов к питательным насосам;
- на трубопроводах пожаротушения;
- на трубопроводах конденсата и дренажей с температурой среды 50°C и выше;
- на трубопроводах специальных газов (кислорода, азота, водорода, углекислого газа и ацетилена).

Применение чугунной арматуры для объектов, строящихся в районах с расчетной температурой наружного воздуха ниже минус 10°C не допускается.

5.3.1.26 При разработке проектов выхлопных трубопроводов от предохранительных клапанов и продувочных линий котлов в атмосферу должны предусматриваться специальные устройства для снижения шума.

5.3.1.27 Наружные поверхности теплосилового оборудования, трубопроводов и воздухопроводов в зданиях, сооружениях и наружных установках должны иметь тепловую изоляцию. Проектирование тепловой изоляции должно выполняться в соответствии с действующими нормативными документами.

При температуре воздуха в помещении плюс 20°C температура на поверхности

изолированных объектов не должна превышать:

- для объектов с температурой до 100°C (вкл.) - плюс 35°C;
- для объектов с температурой выше 100°C - плюс 45°C.

Для объектов, расположенных на открытом воздухе, в рабочей или обслуживаемой зоне температура на поверхности изолированных объектов не должна превышать 55°C при покровном слое из металла и 60°C - при других видах покровных слоев.

Температура на поверхности тепловой изоляции трубопроводов, расположенных за пределами рабочей или обслуживаемой зоны, не должна превышать температурных пределов применения материалов покровного слоя, но не выше 75°C.

Конструкция тепловой изоляции фланцевых соединений, арматуры трубопроводов и участков, подвергающихся периодическому контролю, должна быть съемной.

Тепловая изоляция основных трубопроводов, а также трубопроводов диаметром 100 мм и более при теплоносителе с температурой выше 100°C, участков поверхностей, находящихся вблизи маслопроводов, мазутопроводов и против их фланцевых соединений, вблизи кабельных линий, а также изоляции циклонов, сепараторов, баков запаса конденсата и деаэраторов, установленных снаружи, должна иметь металлические и другие водонепроницаемые негорючие покрытия.

5.3.1.28 В системах масляного охлаждения турбоагрегатов и вспомогательного оборудования блока (питательные электронасосы, тягодутьевые машины, трансформаторы и т.д.) должны применяться только маслоохладители плотной конструкции, исключающей попадание масла в охлаждающую воду или охлаждающей воды в масло.

5.3.1.29 В турбинном отделении электростанций не допускается предусматривать установку маслonaполненного оборудования, не относящегося к технологии отделения.

5.3.1.30 Напорные маслопроводы с избыточным давлением более 0,1 МПа (1 кгс/см<sup>2</sup>) в системах смазки, регулирования и уплотнения турбоагрегатов и питательных насосов следует предусматривать из стальных бесшовных труб, предназначенных для паровых котлов и трубопроводов, с минимальным количеством фланцевых соединений.

5.3.1.31 Фланцевые соединения напорных маслопроводов, включая соединения с арматурой (при избыточном давлении в них 0,1 МПа (1 кгс/см<sup>2</sup>) и более), следует принимать фасонного типа ("шип-паз", "выступ-впадина"). Установка высоких плоских фланцев допускается при стыковке с оборудованием и арматурой, не имеющей фланцев фасонного типа (на маслonaсосах, маслоохладителях, обратных клапанах и т.п.).

На маслопроводах в местах вероятных протечек (высокие плоские фланцевые соединения, сальниковые уплотнения арматуры и т.п.) необходимо предусматривать устройство металлических кожухов с организованным отводом масла в сборный бак или приямок.

5.3.1.32 В системах смазки и регулирования турбин и уплотнения вала генератора, а также в системах смазки других механизмов допускается предусматривать применение негорючих или трудногорючих жидкостей.

5.3.1.33 Под маслonaполненным оборудованием (маслоохладители, маслonaсосы, маслonaочистители и т.п.), имеющим разъемные присоединения трубопроводов, и маслonaбаками объемом более 0,1 м<sup>3</sup> следует предусматривать устройство поддонов.

Отвод масла от поддонов и кожухов следует предусматривать через воронки в сборный бак, откуда масло автоматически перекачивается на маслonaхозяство.

5.3.1.34 Для аварийного слива нефтяного масла из турбоагрегатов следует

предусматривать аварийную подземную емкость, устанавливаемую за пределами главного корпуса (не ближе 5 м от стен здания), равную полному объему наибольшей маслосистемы турбоагрегата. Такие емкости могут устанавливаться как на каждом блоке, так и по одной емкости на каждой группе блоков. Емкость оборудуется сигнализацией уровня с выводом на щит управления.

Для негорючих жидкостей аварийный слив не требуется.

5.3.1.35 На трубопроводах аварийного слива нефтяного масла из маслобака турбоагрегата следует предусматривать последовательно две задвижки, первая из которых с ручным колонковым приводом, выведенным на отметку обслуживания турбины и установленным в безопасном при пожаре на маслобаке месте. Вторая задвижка с ручным управлением по месту установки и должна быть опломбированной в открытом положении.

Сечение трубопровода аварийного слива масла должно обеспечивать опорожнение маслобака в течение 15 минут, но его диаметр не должен превышать 350 мм.

5.3.1.36 На вновь проектируемых ТЭС следует применять генераторы с воздушным или водяным охлаждением.

Для генераторов и синхронных компенсаторов с водородным охлаждением на реконструируемых ТЭС предусматривается централизованная подача водорода и углекислоты (азота).

Ресиверы для хранения водорода и углекислоты (азота) следует устанавливать вне главного корпуса на огражденной площадке.

Ручное управление подачи на подпитку и вытеснение водорода углекислотой (азотом) должно быть установлено в месте, безопасном при пожаре на маслосистеме турбогенератора.

5.3.1.37 Выпуск водорода из турбогенераторов в атмосферу следует предусматривать над кровлей турбинного отделения с установкой конца трубопровода не менее чем на 2 м выше уровня кровли.

Установка огнепреградителей при этом не требуется.

5.3.1.38 Прокладка транзитных трубопроводов с горючими и легковоспламеняющимися жидкостями и газами в турбинном, деаэрационном и котельном отделениях не допускается.

### **5.3.2 Газотурбинные установки**

5.3.2.1 Выбор единичной мощности ГТУ производится с учетом требований Заказчика, принятой тепловой схемы парогазовой электростанции и на основе технико-экономического анализа, а также с учетом экологических требований.

5.3.2.2 Технические характеристики ГТУ, а также объем комплектации должны соответствовать существующим нормам.

5.3.2.3 Технические системы ГТУ должны обеспечивать все режимы, обусловленные требованиями к маневренным характеристикам энергетических установок.

5.3.2.4 Газотурбинная установка должна иметь комплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ), которое обеспечивает:

- очистку атмосферного воздуха, поступающего в осевой компрессор ГТУ, от естественной и промышленной пыли до требуемых величин;
- нагрев воздуха при угрозе обледенения и, при необходимости, охлаждение воздуха;
- снижение до санитарных норм уровня звукового давления, создаваемого осевым компрессором;
- предотвращения попадания посторонних предметов и атмосферных осадков в воздушный тракт.

Конструкция КВОУ должна учитывать местные климатические условия и

соответствовать существующим нормативным материалам.

5.3.2.5 ГТУ должна иметь единую систему смазки турбогруппы и электрического генератора. По согласованию между разработчиком ГТУ и Заказчиком допускаются отдельные системы смазки и различные типы масел.

Система маслоснабжения ГТУ должна исключать попадание масел в окружающую среду.

5.3.2.6 При использовании горючих масел и емкости маслоблока ГТУ более 5 м<sup>3</sup> должен предусматриваться аварийный слив масла в аварийный резервуар согласно существующим нормам.

5.3.2.7 Конструкция оборудования ГТУ должна обеспечивать существующие нормативные требования по обеспечению взрывобезопасности оборудования. ГТУ должна обеспечивать вентиляцию трактов ГТУ и газоходов КУ в процессе ее разворота.

5.3.2.8 Горячие элементы ГТУ в местах возможного контакта обслуживающего персонала должны быть закрыты тепловой изоляцией или защитными кожухами. Температура наружной изоляции или кожуха не должны превышать 45°C.

5.3.2.9 Экологические характеристики ГТУ должны соответствовать существующим нормам.

5.3.2.10 Оборудование ГТУ должно быть выполнено в виде блочных конструкций, готовых к монтажу и раскладке для ревизии.

5.3.2.11 Тип компоновки машзала должен приниматься на основании технико-экономического анализа.

В компоновочных решениях ГТУ должны быть максимально сокращены всасывающие воздухопроводы и выхлопные газоходы.

Компоновочные решения машзала должны предусматривать ремонтные зоны и возможность заезды транспорта. Для ремонта оборудования должны быть предусмотрены грузоподъемные механизмы.

## **6 ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ**

Проектирование водоподготовительных установок (ВПУ), а также устройств водно-химического режима должно обеспечивать:

- надежность снабжения котлов и систем теплофикации водой требуемого качества;
- экономичность в части капитальных и эксплуатационных затрат;
- минимальное влияние сточных вод на природные водоемы;
- отсутствие солевых отложений и коррозии водоподготовительного и теплоэнергетического оборудования и трубопроводов.

При проектировании водоподготовительных установок должны рассматриваться варианты решения с учетом всего комплекса водно-химических вопросов электростанций, включая природоохранные.

В пусковой комплекс первого блока или следующей очереди электростанции должны включаться устройства и установки, обеспечивающие производство обессоленной и умягченной воды, очистку сточных вод, а также водно-химический режим оборудования на всю очередь строительства электростанции.

### **6.1 Подготовка добавочной воды**

6.1.1 Для приготовления добавочной воды котлов на электростанциях следует применять при соответствующем обосновании:

- воды поверхностных источников;
- воды артезианских скважин;
- воды проточных и циркуляционных систем охлаждения турбин при коэффициенте упаривания  $K_v$  не более 1.5, если в них не добавляются вещества, тормозящие процессы известкования и коагуляции (например, фосфорсодержащие

вещества не должны превышать 1 мг/л в пересчете на  $\text{PO}_4^{3-}$ );

- очищенные производственные сточные воды электростанций;
- хозяйственно-бытовые сточные воды после биологической очистки, доочи-стки и проверки возможности их использования;
- продувочные воды котлов.

6.1.2 Выбор способа обработки добавочной воды котлов производится на основании технико-экономических расчетов в зависимости от качества исходной воды, типа котлов и условий сброса минерализованных стоков. Могут применяться следующие технологии:

- химическое обессоливание;
- мембранное обессоливание;
- термическое обессоливание;
- ионообменное умягчение.

Возможно использование комбинированных технологий. При применении указанных технологий следует использовать современное оборудование и расходные материалы (ионообменные смолы, мембраны и др.).

На электростанциях с прямоточными котлами применяется обезжелезивание и обессоливание дистиллята испарителей.

При применении вышеуказанных технологий следует использовать современное оборудование и расходные материалы (ионообменные смолы, мембраны и др.).

6.1.3 Технологическая схема ВПУ должна предусматривать максимальное сокращение сточных вод и расхода реагентов, а также повторное использование стоков в цикле ТЭС.

6.1.4 Расчетную производительность ВПУ следует принимать для котлов любого типа равной не более 3% от суммарной номинальной паропроизводительности котлов плюс покрытие потерь с продувкой котлов и конденсата на производстве.

Для ТЭС с газотурбинными установками при расчете производительности ВПУ, кроме того, должны быть учтены потери пара или конденсата на экологический впрыск в камеру сгорания газовых турбин и на охлаждение их лопаток.

При применении термической схемы обессоливания ее производительность принимается для КЭС с коэффициентом 1,4, а для ТЭЦ и ТЭС с ПГУ и ГТУ с коэффициентом 1,2 от расчетной потребности в обессоленной воде. При этом производительность установок умягчения воды для их питания не увеличивается.

6.1.5 Блочные испарительные установки должны дополняться общестанционной испарительной или химобессоливающей установкой, производительность которой принимается с коэффициентом 0,4 от расчетной потребности в добавочной воде.

6.1.6 При потере пара на разогрев жидкого топлива производительность ВПУ увеличивается на величину потерь, определяемых расчетом.

6.1.7 Для отдачи пара на производство рекомендуется применение паропреоб-разовательных установок.

6.1.8 При расчете технологической схемы ВПУ (выбор количества и типоразмеров фильтров и осветлителей, скорости фильтрации, высоты загрузок, технологических показателей фильтрующих и ионообменных материалов и др.) принимаются показатели технических условий заводов-изготовителей оборудования и поставщиков фильтрующих и ионообменных материалов с учетом отраслевых нормативных документов.

Импортные технологии, оборудование и материалы (в том числе сертифицированные в российской системе сертификации) должны по условиям эксплуатации соответствовать требованиям отечественных нормативных документов.

При проектировании ионитной части ВПУ разного назначения их расчет производится по наихудшему анализу исходной воды за последние 5 лет, а расчет



качества и количества сточных вод - по среднегодовому анализу.

6.1.9 При проектировании ВПУ разного назначения предусматривается максимальная блокировка их с очистными сооружениями, а также со складскими помещениями. При этом должна быть обеспечена возможность дальнейшего расширения ВПУ с учетом подвоза реагентов к складу без промежуточной перегрузки на территории электростанции.

6.1.10 Расположение осветлителей, баков с коническим днищем, баков щелочи, декарбонизаторов для I климатического района предусматривается в здании, в остальных случаях - определяется технико-экономическими расчетами.

При размещении оборудования вне здания применяется тепловая изоляция и, при необходимости, обогрев баков, как правило, обратной водой теплосети. Арматура для управления этим оборудованием размещается в закрытом помещении.

Все трубопроводы, располагаемые вне здания, должны быть утеплены с целью предохранения реагентов от замерзания и кристаллизации.

В случае размещения трубопроводов в каналах предусматриваются съемные плиты и люки для ревизии и ремонта.

Все трубопроводы периодического действия, располагаемые вне здания, должны быть снабжены тепловыми спутниками.

Трубопроводы воды и растворов реагентов диаметром 100 мм и менее прокладываются к осветлителю в пределах зданий и теплых переходов с соблюдением необходимых уклонов.

6.1.11 Выбор ионитов (катионитов и анионитов) производится в зависимости от качества исходной воды и схемы обессоливания.

При питании ВПУ водой поверхностного источника предусматривается предварительная очистка ее в осветлителях и осветлительных фильтрах. В целях снижения ионной нагрузки на ионитные фильтры и объема минерализованных стоков допускается известкование воды подземных источников.

6.1.12 Выбор способа водоподготовки для подпитки тепловых сетей должен производиться в соответствии с действующими нормами качества подпиточной и сетевой воды тепловых сетей.

При обеспечении условий безопасной работы тепловых сетей для подготовки добавочной воды рекомендуется применение ингибиторов отложений минеральных солей.

Для подпитки открытых и закрытых систем теплоснабжения с вакуумной деаэрацией следует использовать воду питьевого качества.

Для закрытых систем теплоснабжения при наличии термической деаэрации допускается использовать техническую воду.

Использование доочищенных хозяйственно-бытовых сточных вод не допускается.

6.1.13 Подача воды в осветлители должна осуществляться насосами сырой воды по самостоятельным трубопроводам без посторонних отборов по трассе.

6.1.14 На предочистках, работающих по методу осаждения, устанавливается не менее двух осветлителей.

Средства автоматизации должны обеспечить колебания температуры воды, поступающей в осветлитель, в пределах  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Суммарная производительность осветлителей предочистки, баков, насосов осветленной воды выбирается с запасом 10% от расчетной потребности в осветленной воде.

При выборе типов осветлителей необходимо исходить из требований получения на выходе из осветлителей качества воды по содержанию взвешенных веществ не более 2 мг/л.

Емкость баков осветленной воды должна учитывать, кроме часового запаса,

объем воды на промывку одного осветлительного фильтра.

6.1.15 На водоочистках с осветлителями количество осветлительных фильтров выбирается из расчета скорости фильтрования 10 м/ч, а без осветлителей - 5 м/ч. Предусматривается один фильтр для перегрузки фильтрующего материала (он же является резервным).

6.1.16 Взрыхляющая промывка осветлительных фильтров осуществляется водой после осветлителей. Могут применяться следующие режимы взрыхляющей промывки:

- совместная водовоздушная промывка с интенсивностью подачи воды 6 л/с\*м<sup>2</sup>, воздуха – 10 л/с\*м<sup>2</sup> и продолжительностью 2-3 мин.;
- промывка водой с интенсивностью подачи 12 л/с\*м<sup>2</sup> и продолжительностью 15-20 мин.

Для повторного использования взрыхляющих вод механических и ионитных фильтров устанавливаются специальный бак и насосы для равномерной подачи этих вод в течение суток в нижнюю часть осветлителя.

6.1.17 Дозирование растворов и суспензий реагентов на водоочистках осуществляется с помощью двух насосов-дозаторов (рабочий и резервный) или эжекторов для подачи каждого реагента в каждую точку ввода.

Рекомендуется индивидуальная система управления электродвигателями насосов-дозаторов известкового молока и других реагентов. Допускается дозирование известкового молока или раствора центробежным насосом при помощи автоматически регулируемого дроссельного клапана.

Расходные емкости растворов и суспензий реагентов принимаются в количестве не менее двух для каждого реагента, из них каждая емкость рассчитывается на 12-24 часовой расход реагента.

Предпочтительно применение расходных емкостей известкового молока с механическим перемешивающим устройством.

6.1.18 При химической обработке подпиточной воды котлов необходимо применять технологии и оборудование, позволяющие обеспечить минимальные удельные расходы реагентов при требуемом качестве обработанной воды.

6.1.19 При проектировании ВПУ необходимо принимать минимальное количество оборудования за счет его высокой единичной производительности.

При производительности химводоочистки свыше 400 м<sup>3</sup>/ч предусматривается разбивка осветлительных и ионитных фильтров (при параллельном их включении) на блоки производительностью не более 400 м<sup>3</sup>/ч.

6.1.20 Количество «цепочек» блочной ионитной установки должно выбираться из условий обеспечения номинальной (расчетной) производительности ВПУ по обессоленной воде и при выводе в ремонт одной «цепочки».

При параллельной схеме включения фильтров, размеры и количество ионитных фильтров первой ступени выбираются такими, чтобы при выводе в ремонт одного из одноименных фильтров расчетное количество регенераций каждого фильтра было не более трех в сутки. Количество одноименных фильтров принимается не менее трех.

В схемах с блочным и параллельным включением фильтров предусматриваются два незаполненных фильтра (катионита и анионита) для гидрперегрузки с подводом к ним растворов кислоты, соли, щелочи и сжатого воздуха. В фильтровальном зале предусматриваются трубопроводы гидрперегрузки загрузочных материалов соштуцерами.

6.1.21 В схемах с «чистой» коагуляцией применение декарбонизаторов на обессоливающих установках обязательно, а в схемах с известкованием необходимость установки декарбонизаторов определяется технико-экономическими расчетами.

## **6.2 Очистка конденсата**

6.2.1 Схемы и состав оборудования конденсатоочисток определяются исходным

качеством очищаемого конденсата, а также качеством питательной воды установленных на электростанции котлов согласно ПТЭ. Производительность установок по очистке конденсатов (турбинного, бойлерного, возвращаемого с производства или мазутохозяйства) рассчитывается на 100%-ный объем очищаемых потоков.

6.2.2 Возвращаемый на конденсатоочистку ТЭЦ производственный конденсат должен отвечать следующим требованиям:

- жесткость общая – не более 50 мкг-экв/л
- содержание железа – не более 100 мкг-экв/л
- содержание меди – не более 20 мкг-экв/л
- содержание кремнекислоты – не более 120 мкг-экв/л
- содержание нефтепродуктов (типа масел и мазута) – не более 0,5 мг/л
- перманганатная окисляемость по кислороду – не более 5 мг/л
- величина рН – 8,5-9,5

Качество и количество возвращаемого с производства конденсата должно быть

подтверждено Заказчиком.

В случае возврата конденсата с загрязняющими компонентами, величина которых превышает вышеуказанные значения, его дополнительная очистка производится за счет потребителя пара в соответствии с действующими правилами пользования электрической и тепловой энергией.

6.2.3 Если конденсат содержит или будет содержать вещества, не вошедшие в указанный перечень, включая органические соединения, то следует применять испарители или паропреобразователи, питаемые возвращаемым конденсатом.

С учетом требований к качеству питательной воды котлов и доли возвращаемого конденсата к расходу питательной воды предусматривается обезмасливание, обезжелезивание, умягчение или обессоливание очищаемого конденсата без установки резервных фильтров.

Для снижения интенсивности коррозии паро-конденсатного тракта предусматривается возможность дополнительного амминирования отпускаемого потребителю пара до величины рН не менее 8,5.

Допускается, по согласованию с потребителем, введение в конденсат или пар, направляемый на производство, ослабляющих коррозию (амины и т.п.) веществ.

Для приема производственного конденсата устанавливаются три бака. Емкость каждого бака рассчитывается на полуторачасовой объем возврата конденсата. Предусматриваются контроль качества возвращаемого конденсата и откачка его на установки очистки конденсата или замасленных вод.

6.2.4 На электростанциях с прямоточными котлами предусматривается 100%-ное обезжелезивание и обессоливание конденсата турбин на блочной обессоливающей установке (БОУ) при температуре до 40°C.

На электростанциях с барабанными котлами БОУ предусматривается при соле-содержании охлаждающей воды конденсаторов более 5000 мг/л и при осуществлении регулирования температуры пара впрыском питательной воды. В остальных случаях допускается обезжелезивание или обессоливание с обессоливанием всего конденсата (в том числе, бойлеров, калориферов и т.д.) при соответствующем технико-экономическом обосновании (например, при работе блока с котлом 14 МПа в маневренном режиме, при применении котлов с одноступенчатым испарением, а также при применении котлов нового поколения).

6.2.5 На БОУ применяются фильтры смешанного действия (ФСД) с выносной регенерацией ионитов, расчетная максимальная скорость фильтрования которых принимается 100 м/ч при одном отключенном на регенерацию фильтре.

Допускается применение раздельного ионирования в корпусах ФСД с выносной регенерацией и теми же скоростями фильтрования. При этом обезжелезивание

совмещается с катионированием конденсата. На каждые две БОУ предусматривается один узел регенерации ионитов.

6.2.6 Для предотвращения попадания ионитов в пароводяной тракт на выходных трубопроводах после каждого ФСД устанавливаются ловушки ионитов, а при раздельной схеме очистки - ловушки устанавливаются после каждого фильтра.

6.2.7 Для электростанций с прямоточными котлами предусматривается автономная обессоливающая установка (АОУ), позволяющая осуществлять многократную циркуляцию через нее всех общестанционных загрязненных конденсатов.

Производительность АОУ (на каждые 4 энергоблока):

- 150 м<sup>3</sup>/ч для блоков мощностью до 500 МВт;

- 300 м<sup>3</sup>/ч для блоков мощностью 500 МВт и более. Обессоливание конденсатов осуществляется в ФСД с внутренней регенерацией

при расчетной скорости фильтрования 50 м/ч. Допускается обессоливание по раздельной схеме ионирования.

6.2.8 Для электростанций с барабанными котлами предусматривается обезже-лезивание и обессоливание на АОУ всех общестанционных загрязненных конденсатов. Производительность установки определяется расчетом.

6.2.9 Для очистки конденсатов от продуктов коррозии с учетом температуры конденсата применяются катионитные фильтры, загруженные катионитом КУ-2-8 или его зарубежным аналогом, сополимером стирола и дивинилбензола.

Скорость фильтрования конденсата принимается до 50 м/ч.

Допускается периодическая гидровыгрузка фильтрующих материалов в специально устанавливаемый фильтр с подводом к нему раствора кислоты и сжатого воздуха.

6.2.10 Очистка конденсата мазутохозяйства не предусматривается при установке подогревателей мазута сварной конструкции. Для проверки качества конденсата хозяйства жидкого топлива устанавливаются два контрольных бака, после которых конденсат направляется в баки запаса или на установку очистки вод, загрязненных нефтепродуктами.

В остальных случаях предусматривается установка для очистки конденсата мазутохозяйства.

6.2.11 Для обезмасливания конденсатов с содержанием масел не более 10 мг/л предусматриваются угольные фильтры, загруженные активированным углем. Скорость фильтрования принимается до 7 м/ч.

### **6.3 Водно-химический режим и химконтроль**

6.3.1 Для котлов в зависимости от принимаемого вводно-химического режима должны предусматриваться устройства для коррекционной обработки питательной воды (аммиаком, гидразингидратом, окислителем и т.д.).

При необходимости подачи пара на пищевые, фармацевтические и другие подобные предприятия предусматривается независимое пароснабжение этих предприятий, в этом случае обработка питательной воды гидразином не допускается. Возможно применение для этих целей паропреобразовательных установок при соответствии параметров пара от них требованиям указанных потребителей.

6.3.2 Для барабанных котлов и котлов-утилизаторов предусматривается устройство для коррекционной обработки котловой воды фосфатами.

Для поддержания щелочности котловой воды на уровне норм установленных ПТЭ допускается дозирование нелетучих щелочей.

Для корректировки качества котловой воды барабанных котлов, оборудованных БОУ, целесообразно применение щелочных агентов взамен фосфатирования.

6.3.3 Предусматривается необходимое оборудование для проведения предпусковых и эксплуатационных водно-химических промывок, предпусковых

парокисло-родных очисток теплосилового оборудования, а также для его консервации.

6.3.4 Установки для обработки воды и пароводяного тракта электростанций должны быть оснащены необходимыми устройствами для отбора, подготовки и охлаждения проб до 20-40°C, а также приборами автоматического химического и технологического контроля.

6.3.5 На электростанциях предусматриваются центральная химическая лаборатория площадью до 300 м<sup>2</sup> и в главном корпусе экспресс-лаборатории (на блочной станции площадью 150 м<sup>2</sup> на каждые два блока, а на неблочной станции 150 м<sup>2</sup> на четыре агрегата). Расположение экспресс-лабораторий предусматривается на отметке обслуживания основного оборудования.

Предусматривается также экспресс-лаборатория на химводоочистке общей площадью 50 м<sup>2</sup>.

Экспресс-лаборатории в главном корпусе должны иметь изолированные помещения для:

- узла подготовки проб;
- первичных преобразователей (датчиков) и вторичных приборов автоматического контроля;
- выполнения химических анализов. Каждое помещение химических лабораторий оборудуется приточно-вытяжной вентиляцией с автономным включением, освещением, отоплением, подводом холодной и горячей водопроводной воды и конденсата, канализацией.

## **6.4 Защита от коррозии**

6.4.1 Предусматриваются защитные покрытия внутренних поверхностей оборудования, трубопроводов, железобетонных емкостей и строительных конструкций, соприкасающихся с агрессивными средами, в соответствии с ведомственными указаниями по системам противокоррозионных покрытий внутренних поверхностей оборудования, трубопроводов и строительных конструкций тепловых электростанций.

*Примечание: Трубопроводы временного использования (например, предпусковой водно-химической очистки оборудования) не подлежат нанесению защитных покрытий.*

6.4.2 При необходимости для ремонта химпокрытий может предусматриваться отдельная мастерская площадью до 120 м<sup>2</sup> со специальным оборудованием.

6.4.3 Допускается выполнение трубопроводов воды и растворов реагентов из полимерных материалов в соответствии с их техническими характеристиками.

6.4.4 На всех трубопроводах ВПУ и склада реагентов, по которым транспортируются растворы реагентов, а также вода с рН ниже 7 устанавливается коррозионно-стойкая арматура.

6.4.5 Пробоотборные линии в главном корпусе и на ВПУ выполняются из нержавеющей стали. Допускается на ВПУ применение полимерных труб в соответствии с их техническими характеристиками.

6.4.6 Баки запаса питательной воды и конденсата защищаются от попадания внешних загрязнений (пыли, золы, песка и т.д.) и, как правило, устанавливаются рядом с главным корпусом.

## **6.5 Склад реагентов**

6.5.1 При доставке реагентов железнодорожным транспортом склады реагентов должны обеспечивать прием не менее одного 60-тонного вагона или цистерны при наличии на складе к моменту разгрузки 15-суточного запаса соответствующего реагента с учетом обеспечения общего запаса не менее чем на месяц.

При использовании извести для нейтрализации кислых сточных вод на водоочистках без известкования предусматривается склад извести с запасом на 15 суток.

При доставке реагентов автотранспортом или по трубопроводу запас реагентов принимается не менее чем на 15 суток.

На складе предусматриваются места и емкости для хранения реагентов, используемых для проведения водно-химической промывки любого котла и питательного тракта, а также места для хранения грузозачерпывающих материалов.

Для электростанций, находящихся в районах с суровыми климатическими условиями и нерегулярными поставками, запас реагентов, способ их разгрузки и хранения принимается с учетом местных условий.

6.5.2 Склад оборудуется устройствами для выгрузки реагентов из вагонов и цистерн, транспортировки реагентов внутри склада и приготовления растворов и суспензий с очисткой их от посторонних примесей. Указанные операции, а также удаление отходов должны быть механизированы. Склад изолируется от фильтровального зала. Температура в помещении должна быть не ниже +10°C.

Для разгрузки каустической соды из железнодорожной цистерны предусматривается подвод пара давлением 2,5-8 кгс/см<sup>2</sup>, подаваемого непосредственно в цистерну.

6.5.3 Объем склада извести принимается из условия поставки ее с активностью 50% СаО. В случае представления Заказчиком обоснованных данных о поставке извести с меньшей активностью, расчет выполняется на количество извести не менее чем 30% СаО.

6.5.4 Для хранения кислот и щелочей устанавливается не менее двух баков для каждого реагента; для водно-химической промывки теплосилового оборудования – по одному баку для каждого реагента.

6.5.5 Баки для хранения кислот и щелочей следует располагать в специальных кислото- и щелочестойких поддонах, отдельно для каждого реагента.

Вместимость поддона должна быть равной емкости наибольшего по объему бака. Высота ограждения должна быть на 0,2 м выше расчетного уровня разливаемой жидкости. Поддоны должны иметь приямок и насос для перекачки реагента в другой бак. При установке баков вне помещения следует предусматривать использование переносного насоса.

6.5.6 В качестве расходных емкостей растворов кислот и щелочей следует преимущественно применять баки с коническими днищами. При применении баков с плоскими днищами их устанавливают на фундаменты, обеспечивающие возможность контроля течи.

6.5.7 Трубопроводы кислот и щелочей (любых концентраций), а также токсичных жидкостей прокладываются с учетом обеспечения безопасности работы персонала электростанции.

Для опорожнения трубопроводов химических реагентов, подаваемых в главный корпус, следует предусматривать продувку его сжатым воздухом.

## **7 ТОПЛИВНОЕ И МАСЛЯНОЕ ХОЗЯЙСТВО**

### **7.1 Разгрузка, хранение, подготовка и подача твердого топлива**

7.1.1 Расчетная производительность каждой нитки конвейера топливоподачи определяется по максимальному часовому расходу топлива ухудшенного качества на все установленные энергетические и водогрейные котлы при их номинальной производительности с запасом 20%.

При расчетной производительности более 2000 т/ч топливоподача может выполняться с двумя или более вводами в главный корпус. При модульной компоновке ТЭС каждый модуль выполняется с самостоятельным вводом топливоподачи.

Примечание: *Вводом топливоподачи называется двухниточная система конвейеров от разгрузочного устройства до бункеров котельной, включающая дробильное устройство и узлы пересыпки, предназначенная для снабжения котлоагрегатов. При этом разгрузочное устройство и склад топлива могут быть*

*общими на два и более ввода.*

7.1.2 Для разгрузки железнодорожных полувагонов с углем и сланцем, как правило, применяются вагонопрокидыватели.

При снабжении электростанций фрезерным топливом его доставка может осуществляться саморазгружающимися вагонами, оборудованными дистанционным управлением открывания и закрывания люков. В этом случае тип разгрузочного устройства определяется в каждом конкретном случае с учетом расхода топлива и типа вагона.

7.1.3 При производительности топливоподачи до 400 т/ч устанавливается один вагонопрокидыватель. Количество вагонопрокидывателей при производительности топливоподачи свыше 400 т/ч определяется с учетом Правил перевозок грузов МПС и времени на маневровые операции по подаче ставки под разгрузку.

К расчетному количеству вагонопрокидывателей устанавливается один резервный на случай выхода из строя рабочих вагонопрокидывателей или установленных под ними питателей, конвейеров.

7.1.4 При установке одного вагонопрокидывателя на складе топлива в качестве резерва предусматривается разгрузочная эстакада длиной 120 м и высотой не менее 3,0 м или приемный бункер на один вагон.

Для механизированной разгрузки неисправных полувагонов на складе топлива предусматривается железнодорожная эстакада длиной 60 м, подземный бункер и др.

7.1.5 Разгрузка вагонов со шламом предусматривается на железнодорожной эстакаде, рядом с которой должна быть площадка для складирования и подсушки шлама. Эстакада и площадка оснащаются соответствующими механизмами по выгрузке и перевалке шлама. Размеры площадки определяются исходя из двухнедельного объема максимальной поставки шлама. Необходимость установки для выгрузки шлама других разгрузочных устройств (например, вагонопрокидывателя) определяется технико-экономическим обоснованием с учетом объема поставки шлама, его характеристик и других условий конкретной ТЭС.

7.1.6 При доставке топлива на электростанцию с разрезом ленточными конвейерами в месте их примыкания к системе топливоподачи ТЭС предусматривается приемная (буферная) емкость.

Вместимость емкости должна быть не менее суммарного объема топлива, находящегося на всей длине конвейерной линии, подающей топливо на ТЭС.

7.1.7 При железнодорожной доставке на электростанцию смерзающегося топлива сооружаются размораживающие устройства преимущественно проходного типа.

7.1.8 В разгрузочных устройствах для дробления на решетках смерзающегося и крупнокускового топлива предусматривается установка специальных дробильных машин. Решетки над бункерами в разгрузочных устройствах должны иметь ячейки размером в свету 350x350 мм, расширяющиеся книзу. При соответствующем обосновании допускается, кроме дробильных машин, устанавливать дополнительно дробилки предварительного дробления. При этом размеры ячеек решеток допускается принимать более 350x350 мм.

7.1.9 Подача топлива от каждого вагонопрокидывателя осуществляется ленточным конвейером с производительностью, равной производительности вагонопрокидывателя.

7.1.10 Подача топлива в котельную, как правило, осуществляется двухниточной системой ленточных конвейеров для каждого ввода в главный корпус, при этом одна нитка является резервной. Должна быть предусмотрена возможность одновременной работы обеих ниток. Подача топлива на склад предусматривается одониточной системой конвейеров.

7.1.11 Производительность одониточной системы конвейеров и механизмов

подачи топлива на склад принимается равной производительности ленточного конвейера от разгрузочного устройства.

7.1.12 В тракте топливоподачи электростанций, работающих на всех видах твердого топлива, устанавливаются дробилки мелкого дробления, обеспечивающие измельчение топлива до размеров, требуемых по техническим условиям на котел или на топливоприготовительное оборудование, установленное в котельном отделении.

Производительность всех дробилок тонкого дробления должна быть не меньше производительности всех ниток конвейеров топливоподачи в котельное отделение.

При техническом обосновании производительность дробилок выбирается с учетом отсева мелочи.

7.1.13 В тракте топливоподачи для улавливания из угля металла на конвейерах устанавливаются:

- в первом узле пересыпки на конвейерах от разгрузочного устройства – металлоискатель и подвесной саморазгружающийся электромагнитный желе-зоотделитель;
- перед дробилками - металлоискатель и подвесной саморазгружающийся электромагнитный желе-зоотделитель;
- после дробилок – металлоискатель, подвесной саморазгружающийся электромагнитный желе-зоотделитель и контрольный металлоискатель.

При шаровых барабанных мельницах желе-зоотделители устанавливаются только до дробилок.

7.1.14 Для улавливания из угля древесины и прочих посторонних предметов устанавливаются:

- в первом узле пересыпки после разгрузочного устройства - уловители длинномерных предметов;
- после дробилок - уловители щепы, немагнитного металла.

7.1.15 Уловленные из топлива посторонние предметы должны удаляться механизированным способом.

7.1.16 В тракте топливоподачи после дробилок тонкого дробления и установок по улавливанию посторонних предметов предусматриваются пробоотборные и про-боразделочные установки для определения качества топлива, подаваемого в котельную.

7.1.17 Для взвешивания топлива, поступающего в котельное отделение и на склад, на соответствующих конвейерах устанавливаются ленточные весы.

7.1.18 Перекрестные пересыпки в системе топливоподачи предусматриваются:

- после конвейеров разгрузочного устройства;
- после конвейеров со склада;
- в башне пересыпки главного корпуса. Для перегрузки топлива с конвейера на два или несколько других применяются катучие реверсивные конвейеры, делители потока, распределители топлива, шибера и другие устройства.

7.1.19 Наибольший допускаемый угол наклона ленточных конвейеров принимается:

- для рядового топлива - 15°;
- для мелкого и дробленого топлива - 18°;
- в местах загрузки крупнокускового топлива - 12°.

7.1.20 Для распределения топлива по бункерам сырого угля главного корпуса применяются стационарные плужковые сбрасыватели, катучие реверсивные конвейеры и другие устройства и механизмы в зависимости от расположения бункеров, их вместимости, режима работы, скорости ленты конвейеров и др.

7.1.21 Угол наклона стенок бункеров топливоподачи принимается:

- для антрацитов, каменных, бурых углей и сланцев - не менее 60°;



- для высоковлажных углей, промпродуктов и шлама - не менее 70°. Углы внутренних граней бункеров скругляются радиусом 0,5-1 м. При потреблении электростанцией двух или более видов топлива, углы наклона выбираются для топлива с наилучшими сыпучими свойствами.

На бункерах разгрузочных устройств и склада топлива должны быть предусмотрены мероприятия по предотвращению налипания топлива (внутренняя облицовка стенок, обогрев и др.).

7.1.22 Пересыпные короба и течи должны обеспечивать беспрепятственный сход топлива. Топливо на конвейер должно поступать вдоль его продольной оси при симметричном расположении на ленте конвейера и максимально возможном приближении скорости движения топлива к скорости ленты.

Угол наклона пересыпных коробов и течек для угля и сланца принимается не менее 60°, а для высоковлажных углей, промпродукта и шлама не менее 65°. Рабочие поверхности пересыпных устройств выполняются со средствами защиты от износа (бронирование, футеровка и др.).

Для замазывающихся углей предусматриваются мероприятия, препятствующие налипанию (обогрев, футеровка, установка виброустройств и др.).

7.1.23 Все устройства по пересыпке топлива внутри помещений, а также бункера сырого топлива проектируются с герметизацией от пыления и установками по обеспыливанию. Высоту перепадов в местах перегрузок топлива рекомендуется принимать минимальной.

7.1.24 Ленточные конвейеры устанавливаются в закрытых галереях. Допускается установка открытых конвейеров на складе топлива, обусловленная конструкцией погрузочно-разгрузочной машины.

Габаритные размеры галереи, ширина проходов, расположение переходных мостиков и эвакуационных выходов принимаются согласно общим требованиям безопасности, устанавливаемых соответствующими нормативными документами.

При соответствующем обосновании каждый конвейер двухниточного тракта может устанавливаться в отдельной галерее.

7.1.25 Вместимость резервных складов топлива определяется по расчетному суточному расходу топлива на все установленные котлы при их работе с номинальной производительностью на гарантийном топливе. Вместимость складов угля и сланца для хранения технологического запаса топлива, обеспечивающего надежную работу электростанции, принимается, как правило, равной 30-ти суточному расходу (без учета страховых запасов), для электростанций, располагаемых в районе угольных разрезов или шахт на расстоянии до 100 км - 15-ти суточному расходу. При конвейерной доставке топлива на электростанцию вместимость складов принимается равной 10-ти суточному расходу.

Для охлаждения разогревшегося в штабелях топлива (кроме антрацита и полуантрацита) на складе должна предусматриваться запасная площадка размером не менее 5% общей площади штабелей.

Необходимость в дополнительных емкостях складов на электростанции под хранение топлива для других нужд (страховые запасы) устанавливается Заказчиком на стадии выдачи задания на проектирование.

При доставке топлива на электростанцию водным или смешанным (водно-железнодорожным) транспортом вместимость складов определяется исходя из объемов хранения «межсезонных» (межнавигационных) запасов топлива.

7.1.26 На электростанциях, работающих на торфе, сооружается склад емкостью на 5-ти суточный расход, но не более 60000 т. При необходимости хранения торфа на складе в количестве, превышающем 60000 т, должны быть организованы самостоятельные резервные склады емкостью до 60000 т каждый. Резервный склад должен быть удален от территории электростанции на расстояние в пределах 5-30 км и

связан с ней железнодорожными путями без выхода на железнодорожные пути общего пользования. Допускается размещение резервного запаса торфа на близлежащем торфо-предприятии, удаленном от электростанции не более чем на 30 км и связанном с нею железнодорожными путями без выхода на железнодорожные пути общего пользования.

7.1.27 В целях улучшения экологической обстановки, а также для организации усреднения топлива рекомендуется создание базисных складов. В этом случае вместимость резервного склада ТЭС уменьшается по согласованию с Заказчиком.

7.1.28 На складах твердого топлива должно быть предусмотрено использование:

- машин непрерывного действия (роторные погрузчики, штабелеукладчики и др.) на гусеничном или рельсовом ходу с максимальной автоматизацией их работы;
- мощных бульдозеров в комплексе со штабелеукладчиком или конвейерами необходимой длины;
- виброкатков. Рекомендуется принимать пробег бульдозера при выдаче топлива со склада до

75м.

Выбор системы механизации угольных складов в каждом конкретном случае определяется технико-экономическим обоснованием с учетом климатических условий района размещения электростанции, объема хранения, часового расхода и качества топлива.

Для вспомогательных операций (разравнивание, уплотнение топлива в штабеле), а также выдаче топлива из расходного (буферного) штабеля используются бульдозеры. Этими же бульдозерами резервируются машины непрерывного действия. При наличии на складе электростанции двух или более машин непрерывного действия рекомендуется их взаимное резервирование.

Другие складские механизмы, кроме бульдозеров, резервируются одним механизмом. При механизации склада только бульдозерами резерв должен быть в размере 50% от расчетного количества.

7.1.29 Для выравнивания неравномерностей в поступлении (выгрузке) и расходе топлива на электростанции из общей вместимости основного (резервного) склада топлива предусматривается расходный (буферный) склад (штабель) вместимостью не менее суточного расхода топлива. Расходный склад должен быть закрытого типа, в качестве которого могут приниматься бункеры (силосы), ангары.

Допускается применение открытого расходного склада для складов, механизированных бульдозерами.

На открытых резервных и расходных складах топлива должны предусматриваться мероприятия по снижению пылеобразования и уноса пыли. При специальном обосновании резервный склад может выполняться закрытым.

7.1.30 Выдача топлива с расходного, в случае размещения его вне основного тракта, и резервного складов в основной тракт топливоподачи осуществляется самостоятельными однниточными системами конвейеров.

7.1.31 Часовая производительность складских механизмов и каждого однониточного тракта выдачи топлива со склада принимается по производительности одной нитки конвейеров основного тракта.

7.1.32 Для технического обслуживания и ремонта бульдозеров предусматриваются закрытые отапливаемые помещения, оборудованные необходимыми средствами технического обслуживания и ремонта на количество машин, равное 50% расчетного парка бульдозеров, но не менее чем на две машины. Для стоянки остального количества бульдозеров предусматривается навес. Капитальный ремонт бульдозеров производится на специальных предприятиях.

7.1.33 Уборка пыли и осыпи угля в помещениях топливоподачи должна быть механизированной. Все отапливаемые помещения топливоподачи должны

проектироваться с учетом уборки пыли и осыпи угля с помощью гидросмыва. Под конвейерами в головной части рекомендуется предусматривать установку подборщиков про-сыпи. В обоснованных случаях допускается для неотопливаемых помещений предусматривать сезонную гидроуборку. Удаление топлива из прямых гидроразгрузочных устройств должно быть механизировано с последующей его утилизацией.

В обоснованных случаях допускается пневмоуборка помещений топливоподачи.

7.1.34 Галереи ленточных конвейеров, помещения узлов пересыпок разгрузочных устройств (за исключением надземной части здания вагоноопрокидывателя и других устройств с непрерывным движением вагонов) должны быть отопливаемыми для поддержания в них температуры  $+10^{\circ}\text{C}$ ; помещения дробильных устройств  $+15^{\circ}\text{C}$ , надземная часть закрытых разгрузочных устройств, кроме устройств с непрерывным движением вагонов  $+5^{\circ}\text{C}$ .

7.1.35 В узлах пересыпки, помещениях дробильных устройств, бункерной галерее главного корпуса, разгрузочных устройствах следует предусматривать обеспыливание (аспирацию, гидро-и парообеспыливание, пеноподавление и т.д.).

7.1.36 Тракт топливоподачи оборудуется установками автоматической пожарной сигнализации и пожаротушения в соответствии с действующими нормами.

7.1.37 Для уменьшения распространения пыли по тракту топливоподачи допускается, при техническом обосновании, устанавливать через каждые 100 м наклонных галерей перегородки огнестойкостью не менее 0,75 часа, оборудованные дверями и проемами с фартуками.

7.1.38 На топливоподаче для производства ремонтных работ должны предусматриваться соответствующие средства механизации.

7.1.39 В местах выхода из производственных помещений топливоподачи в лестничные клетки или в соседние производственные помещения следует предусматривать устройство тамбур-шлюзов с постоянным подпором воздуха.

7.1.40 Склады для хранения огнеопасных и взрывчатых веществ, помещения для ацетилена и других горючих газов не допускается пристраивать к зданиям топливоподачи.

Допускается пристраивать к глухим стенам зданий топливоподачи ремонтные мастерские и другие производственные помещения с невзрывоопасным производством.

7.1.41 Устройство сварочных постов в помещениях топливоподачи не допускается.

7.1.42 Прокладка транзитных трубопроводов отопления, технологического пара и электрокабелей в помещениях тракта топливоподачи запрещается. Запрещается также прокладка трубопроводов для кислорода, ацетилена и других горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей.

## **7.2 Разгрузка, хранение и подача жидкого топлива**

7.2.1 Хозяйство жидкого топлива сооружается для снабжения:

- топочным мазутом (далее мазут) котлов электростанций и котельных, использующих его в качестве основного топлива;
- резервным, аварийным или растопочным жидким топливом котлов, для которых основным топливом является газ или твердое топливо;
- дизельным или газотурбинным топливом в качестве основного топлива газотурбинных установок электростанций. Дизельное топливо может являться также резервным или аварийным при основном газообразном и пуско-остановочном при основном газотурбинном.

Соответственное название имеют и сооружаемые на электростанциях хозяйства жидкого топлива: основное, резервное, аварийное или растопочное.

7.2.2 Для электростанций, сжигающих природный газ, при обеспечении круглогодичной подачи его от двух независимых источников в объеме необходимом на

полную мощность хозяйство жидкого топлива может не сооружаться.

*Примечание: Под двумя независимыми источниками газоснабжения понимаются такие, когда при любой аварии на одном из них в цепочке добыча-переработка-транспортировка от другого сохраняется надежная поставка газа до газораспределительной станции (ГРС) включительно.*

7.2.3 Снабжение жидким топливом пусковой котельной производится от одного из указанных в п.6.2.1 хозяйств или от индивидуального хозяйства жидкого топлива.

7.2.4 Поставка жидкого топлива на электростанцию должна предусматриваться, как правило, железнодорожным транспортом в цистернах.

Допускается поставка дизельного или газотурбинного топлива трубопроводным, автомобильным или водным транспортом.

Для слива жидкого топлива из железнодорожных цистерн предусматривается приемно-сливное устройство.

7.2.5 Приемно-сливное устройство хозяйства жидкого топлива рассчитывается на прием цистерн грузоподъемностью 60 и 120 т. Длина фронта разгрузки основного и резервного хозяйства должна приниматься исходя из слива расчетного суточного расхода топлива, времени разогрева (для мазута) и слива не более 9 часов, а также весовой нормы железнодорожного маршрута, но не менее 1/3 длины маршрута, по согласованию с управлением железной дороги. При этом доставка жидкого топлива принимается цистернами расчетной грузоподъемностью 60 т с коэффициентом неравномерности подачи 1,2.

#### 7.2.6 Мазутное хозяйство

7.2.6.1 Слив мазута из цистерн должен производиться в межрельсовые каналы (лотки), откуда мазут направляется через фильтр-сетку и гидрозатвор в приемную емкость. Размер ячейки фильтр-сетки не должен превышать размер наименьшей стороны канала рабочего колеса насоса, откачивающего мазут из приемной емкости, но не более 20 мм.

7.2.6.2 На приемно-сливном устройстве мазутного хозяйства предусматривается подвод пара или горячего мазута к цистернам, на обогрев сливных лотков, приемных емкостей и гидрозатворов, а также подвод пара для обогрева примерзших клапанов цистерн.

По всей длине фронта разгрузки приемно-сливного устройства мазутохозяйства предусматриваются эстакады на уровне площадок обслуживания цистерн.

Вдоль сливных лотков по обеим их сторонам выполняется бетонное покрытие с уклоном в сторону лотков шириной 5 м от оси железнодорожного пути. Уклон лотков принимается однопроцентным.

Предусматривается сбор и откачка ливневых и талых вод из приемной емкости на очистные сооружения при резервном и аварийном топливах.

7.2.6.3 Полезный объем приемной емкости мазутохозяйств принимается не менее 20% емкости цистерн, устанавливаемых под разгрузку, с учетом дополнительного количества при разогреве цистерн горячим мазутом.

Насосы должны обеспечить перекачку мазута, слитого из цистерн, не более чем за 4 часа. Насосы, откачивающие мазут из приемной емкости, устанавливаются с резервом.

7.2.6.4 При подаче мазута на электростанцию по трубопроводам от нефтеперерабатывающих заводов возможность доставки мазута по железной дороге предусматривается только при специальном обосновании.

7.2.6.5 Разогрев мазута в резервуарах мазутного хозяйства принимается циркуляционный и, как правило, по отдельному специально выделенному контуру. В местах забора мазута допускается применение местных разогревающих устройств с помощью горячего мазута или пара.

7.2.6.6 Схема подачи мазута (одно- или двухступенчатая) в мазутохозяйства принимается в зависимости от требуемого давления перед форсунками и характеристик устанавливаемого оборудования.

7.2.6.7 Мазутные хозяйства электростанций должны быть обеспечены паром с параметрами: давление 1,0-1,3 МПа (10-13 кгс/см<sup>2</sup>), температура 200-300°С. Конденсат пара должен подвергаться контролю и очистке от мазута и использоваться в технологическом цикле электростанции.

7.2.6.8 Оборудование основного, резервного и аварийного мазутных хозяйств должно обеспечивать непрерывную подачу мазута в котельное отделение при работе всех рабочих котлов с номинальной производительностью.

Вязкость подаваемого в котельную мазута должна быть:

- при механических и паромеханических форсунках - не более 2,5°УВ;
- при паровых и ротационных форсунках не более 6°УВ.

7.2.6.9 Для обеспечения циркуляции мазута в напорных мазутопроводах котельной и в отводах к каждому котлу предусматривается трубопровод рециркуляции мазута из котельной в мазутохозяйство.

7.2.6.10 В насосной основного и резервного мазутохозяйства, кроме расчетного количества рабочего оборудования, должно предусматриваться:

- по одному элементу резервного оборудования - насосы, подогреватели, фильтры тонкой очистки;
- по одному элементу ремонтного оборудования - основные насосы I и II ступени.

Количество мазутных насосов в каждой ступени основного и резервного мазутных хозяйств должно быть не менее четырех, в том числе не менее двух рабочих насосов.

В насосной аварийного мазутохозяйства ремонтная группа насосов не предусматривается.

7.2.6.11 Производительность основных мазутных насосов при выделенном контуре разогрева выбирается с учетом дополнительного расхода мазута в размере не менее 10% на рециркуляцию из котельной в мазутное хозяйство. Часовая производительность насоса циркуляционного разогрева должна обеспечивать подготовку мазута в резервуарах и быть не менее 2% емкости самого большого резервуара, и соответственно увеличивается при разогреве цистерн и сливных лотков горячим мазутом.

Для циркуляционного разогрева мазута предусматривается по одному резервному насосу и подогревателю.

Подвод мазута к всасывающему коллектору основных насосов предусматривается от каждого резервуара или от каждой группы резервуаров.

7.2.6.12 Технологическая схема мазутонасосной должна обеспечивать работу любого подогревателя с любым основным насосом.

7.2.6.13 В мазутохозяйствах должна предусматриваться выносная (за пределы мазутонасосной) дренажная емкость не менее 25 м<sup>3</sup>.

7.2.6.14 Подача мазута к энергетическим и водогрейным котлам из основного и резервного мазутных хозяйств должна производиться по двум магистралям, каждая из которых рассчитана на пропуск 75% расчетного расхода топлива с учетом рециркуляции. Для аварийного мазутохозяйства предусматривается один мазутопровод.

7.2.6.15 Подача пара к основному и резервному мазутным хозяйствам производится по двум трубопроводам, каждый из которых рассчитан на 75% расчетного расхода пара, к аварийному мазутному хозяйству - по одному.

Для сбора конденсата необходимо предусматривать установку не менее двух баков.

Возврат конденсата производится по одному-двум трубопроводам в зависимости от схемы сбора и очистки конденсата.

Устанавливается не менее двух конденсатных насосов, один из которых резервный.

7.2.6.16 На всасывающих и напорных мазутопроводах должна быть установлена запорная арматура с электрическим приводом на расстоянии 10-50 м от мазутона-сосной для отключений в аварийных случаях.

На вводах мазутопроводов внутри котельного отделения должна устанавливаться запорная арматура с электрическим приводом, расположенная в удобном для обслуживания месте.

7.2.6.17 Мазутопроводы котельной на  $P_v$  40 и 64 кгс/см<sup>2</sup> следует предусматривать из стальных бесшовных труб, предназначенных для паровых котлов и трубопроводов, изготавливаемых по специальным условиям, с выполнением 100% контроля монтажных сварных соединений ультразвуковой дефектоскопией или радиографией.

Запрещается прокладка напорных мазутопроводов в подвальных помещениях.

7.2.6.18 Для поддержания необходимого давления в напорных мазутопроводах котельной устанавливается регулирующий клапан «до себя» на выходе линии рециркуляции из котельной в мазутное хозяйство.

7.2.6.19 Дистанционное аварийное выключение основных мазутных насосов должно предусматриваться с центрального щита управления (ЦЩУ) для блочных ТЭС и с главного щита управления (ГЩУ) для ТЭС с поперечными связями.

На местном щите мазутонасосной должна предусматриваться сигнализация аварийного понижения давления мазута в подающих мазутопроводах к котлам.

7.2.6.20 Подача мазута на мазутохозяйство от нефтеперерабатывающего завода должна производиться по одному трубопроводу. В отдельных случаях при соответствующем обосновании допускается подача мазута по двум трубопроводам.

7.2.6.21 Прокладка всех мазутопроводов выполняется, как правило, наземной с уклоном не менее 0,003.

Все мазутопроводы, прокладываемые на открытом воздухе и в помещениях с температурой ниже +5°C, должны иметь паровые или другие обогревающие спутники в общей с ними изоляции.

На мазутопроводах должна применяться только стальная арматура, предпочтительно бесфланцевая.

На мазутопроводах котельных отделений фланцевые соединения и арматура (места вероятных пропусков) должны быть заключены в стальные кожухи с отводом пропускаемого мазута в специальные емкости.

7.2.6.22 Стальные резервуары мазутного хозяйства должны иметь тепловую изоляцию в районах со среднегодовой температурой +9°C и ниже.

Следует предусматривать антикоррозионное покрытие внутренней и наружной поверхностей стальных резервуаров.

На резервуарах для хранения мазута предусматривается установка вентиляционных патрубков с огнепреградителями.

7.2.6.23 Расчетный суточный расход мазута для определения емкости мазуто-хранилища электростанций, предназначенных для работы в базовом режиме, определяется исходя из 20-часовой работы всех энергетических котлов при их номинальной производительности и 24-часовой работы водогрейных котлов в режиме покрытия тепловых нагрузок при средней температуре самого холодного месяца.

Емкость мазутохранилища (без учета страхового запаса) для электростанций, у которых мазут является основным, резервным или аварийным топливом, принимается следующей: При подаче по железной дороге:

- основное

на 15-ти суточный расход

- резервное на 10-ти суточный расход
  - аварийное на 5-ти суточный расход
  - для пиковых водогрейных котлов на 10-ти суточный расход
- При подаче по трубопроводам: на 3-х суточный расход

Необходимость в сооружении дополнительных емкостей под хранение на электростанции мазута для других нужд (страховой запас и др.) устанавливается Министерством энергетики РФ на стадии выдачи задания на проектирование.

*Примечание: Для электростанций, предназначенных для работы в маневренном режиме, емкость хранилища определяется в зависимости от заданного режима работы электростанции.*

7.2.6.24 В основном и резервном мазутных хозяйствах электростанций по требованию Заказчика предусматриваются устройства для приема, слива, хранения, подготовки и дозирования жидких присадок в мазут.

7.2.6.25 Для электростанций на твердом топливе емкость мазутохранилища растопочного мазутохозяйства определяется из условия создания 10-ти суточного запаса с учетом расхода мазута на растопку согласно п.4.2.6.29 и подсветку в размере 0,1 от номинального расхода всеми рабочими котлами.

7.2.6.26 Для электростанций, на которых в качестве основного топлива для энергетических котлов выделен уголь, а для пиковых водогрейных котлов мазут, емкость совмещенного мазутохранилища определяется с учетом запаса на водогрейные котлы и емкости растопочного мазутного хозяйства.

7.2.6.27 Длина фронта разгрузки растопочного мазутохозяйства для электростанций с общей паропроизводительностью котлов до 4000 т/ч принимается равной 100 м, более 4000 т/ч - 200 м.

Полезный объем приемной емкости растопочного мазутохозяйства должна быть не менее 300 м<sup>3</sup>. Насосы, откачивающие мазут из нее, устанавливаются без резерва.

7.2.6.28 Для подачи мазута в котельное отделение пылеугольных ТЭС и пара в растопочное мазутохозяйство предусматривается по одному трубопроводу.

Число мазутных насосов в каждой ступени растопочного мазутохозяйства принимается не менее трех, в том числе один резервный.

7.2.6.29 Пропускная способность мазутопроводов и производительность насосов растопочного мазутного хозяйства выбираются с учетом общего количества и мощности агрегатов (энергоблоков) на электростанции, режима работы электростанции в энергосистеме и особенностей района размещения электростанции.

При этом число одновременно растапливаемых агрегатов с нагрузкой до 30% их номинальной производительности не должно превышать:

- на КЭС - четырех блоков по 200 МВт, или трех по 300 МВт, или двух по 500 МВт, или одного 800 МВт;
- на ТЭЦ - двух наибольших котлов.

7.2.6.30 Растопочное мазутное хозяйство допускается выполнять совмещенным с маслохозяйством.

7.2.6.31 Отвод замазученной воды из нижней части любого резервуара мазутного хозяйства предусматривается в нефтеловушки, специально устанавливаемые в мазутном хозяйстве, с последующей подачей воды на очистные сооружения, а уловленного мазута в приемную емкость или в резервуары.

## 7.2.7 Хозяйство жидкого топлива для газотурбинных установок

7.2.7.1 На ТЭС с газотурбинными и парогазовыми установками, использующими жидкое топливо в качестве основного, а также в качестве резервного или аварийного при основном газообразном, сооружается хозяйство дизельного или газотурбинного топлива с учетом технических условий на поставку ГТУ и действующих нормативных документов.

7.2.7.2 При сливе, хранении и подаче жидкого топлива для газотурбинных

установок не должно быть допущено его обводнение.

7.2.7.3 Слив дизельного и газотурбинного топлива из железнодорожных или автомобильных цистерн должен осуществляться закрытым способом.

7.2.7.4 Для хранения дизельного и газотурбинного топлива должны применяться стальные вертикальные наземные резервуары.

Количество резервуаров для хранения основного топлива должно быть не менее двух. Кроме того, должна быть предусмотрена установка одного-двух резервуаров для подготовленного газотурбинного топлива.

7.2.7.5 Емкость склада основного жидкого топлива (без учета страхового запаса) в зависимости от режима работы ТЭС принимается следующей:

- при базисном режиме – 15-суточный запас при расходе, соответствующем суммарной номинальной нагрузке ТЭС;
- при пиковом режиме – 30-суточный запас при максимальном часовом расходе топлива с учетом количества часов работы в сутки.

Необходимость в дополнительных емкостях для жидкого топлива для хранения страхового запаса и др. устанавливается Заказчиком на стадии утверждения задания на проектирование ТЭС.

7.2.7.6 Для хранения дизельного топлива, используемого на ТЭС в качестве резервного, аварийного или пуско-остановочного, предусматривается, как правило, два резервуара суммарной емкостью не менее, чем на 10-суточный запас для резервного и 5-суточный запас для аварийного или пуско-остановочного при максимальном часовом расходе топлива на ТЭС.

7.2.7.7 Подача жидкого топлива к ГТУ от топливного хозяйства должна производиться, как правило, по одному трубопроводу, рассчитанному на номинальную производительность с учетом 10%-ной рециркуляции.

Возврат (рециркуляция) жидкого топлива от ГТУ производится также по одному трубопроводу.

7.2.7.8 Подача пара на топливное хозяйство следует предусматривать по одному трубопроводу, обеспечивающему суммарный расчетный расход пара на нужды топливного хозяйства.

Параметры пара определяются тепловой схемой ТЭС.

7.2.7.9 Технологической схемой газотурбинного топлива должна быть предусмотрена система подготовки топлива, а также ввод жидких присадок в топливопроводы.

7.2.7.10 Проектом здания топливной насосной должны предусматриваться комплекс мероприятий по обеспечению взрывопожаробезопасности: устройство приточ-но-вытяжной вентиляции, установка сигнализаторов нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПРП), применение электрооборудования по своему уровню и степени защиты отвечающего требованиям ПУЭ.

7.2.7.11 Компоновка технологического оборудования в топливной насосной должна обеспечивать удобство обслуживания и ремонта оборудования при высокой механизации с минимальным использованием ручного труда.

7.2.7.12 В отдельном помещении здания топливной насосной размещается местный щит управления (МЩУ). Вход в помещение МЩУ должен быть предусмотрен снаружи или через тамбур-шлюз из топливной насосной.

7.2.4.10 В здании топливной насосной должны быть предусмотрено размещение КРУ-0,4 кВ, мастерской, туалета, душевой, помещения чистой и грязной одежды, комнаты приема пищи и других бытовых помещений.

7.2.4.11 Вспомогательные помещения следует размещать в местах с наименьшим уровнем шума, вибрации и других вредных факторов и, по возможности, с естественным освещением.



Уровни вредных факторов (температура, влажность, шум, вибрация и др.) не должны превышать величин, установленных соответствующими нормативно-техническими документами.

### **7.3 Газовое хозяйство**

7.3.1 Газовое хозяйство электростанции предназначено для подачи природного (или после переработки) газа к газовым турбинам, дополнительным камерам дожигания или котельным агрегатам, для которых этот газ является основным (постоянным или сезонным), резервным или аварийным топливом.

При проектировании систем газоснабжения ТЭС следует учитывать требования действующих нормативных документов по безопасности систем газораспределения и газопотребления.

7.3.2 Схемными решениями систем газоснабжения ТЭС должно предусматриваться обеспечение топливом газопотребляющих установок с разным требуемым давлением газа: от 1,2 до 5,0 МПа для ГТУ и ПГУ и порядка 0,2 МПа для котельных агрегатов.

Схемы систем газоснабжения ТЭС от газораспределительной станции (ГРС) на магистральных газопроводах могут предусматриваться как совместные, так и отдельные при разных давлениях транспортируемого газа и для разных требуемых давлений газопотребляющих установок.

7.3.3 Подводящие газопроводы от ГРС или магистральных газопроводов до площадки ТЭС следует прокладывать, как правило, подземно, а по территории электростанции выполняется, как правило, надземно.

Распределительный газопровод котельного или газотурбинного отделения прокладывается вне здания.

7.3.4 На газопроводах электростанций должна применяться только стальная арматура класса А герметичности затвора.

7.3.5 Внутренние газопроводы в помещениях должны прокладываться в местах, удобных для их обслуживания, осмотра и ремонта.

Запрещается прокладка газопроводов по подвалам, в каналах и коробах, а также в местах, где они могут быть повреждены или подвержены коррозии.

7.3.6 Отопление и вентиляцию помещений в зданиях и сооружениях системы газоснабжения, а также главного корпуса с установками, работающими на природном газе, следует проектировать в соответствии с действующими нормативными документами.

7.3.7 Уровни вредных факторов от систем газоснабжения (температура, влажность, шум, вибрация и др.) не должны превышать величин, установленных соответствующими нормативно-техническими документами.

7.3.8 При проектировании систем газоснабжения ТЭС должны быть предусмотрены мероприятия по снижению уровня шума и предотвращению обледенения газопроводов.

7.3.9 Подача газа к котельным агрегатам

7.3.9.1 Максимальное давление поступающего на площадку ТЭС газа для сжигания в котлоагрегатах не должно превышать 1,2 МПа (12 кгс/см<sup>2</sup>).

7.3.9.2 Подвод газа от газораспределительной станции к газорегуляторному пункту (ГРП) осуществляется, как правило, по одному газопроводу на каждый ГРП. Резервный подвод газа не предусматривается.

Присоединение других потребителей к подводящему газопроводу допускается только по согласованию с его владельцем.

Для блочных ГРП допускается выполнять один общий подвод газа к двум и более ГРП от одной ГРС с резервированием газоснабжения от другой ГРС.

7.3.9.3 Предусматриваемый на территории электростанции ГРП предназначен для снижения и поддержания давления поступающего газа на уровне, установленном

техническими условиями на котлоагрегат.

Производительность ГРП на ТЭС, где газовое топливо является основным, должна быть рассчитана исходя из максимального потребления газа котлами, а на ТЭС, сжигающих газ сезонно, - из суммарного расхода газа летнего режима.

Число параллельных установок, регулирующих давление газа, в каждом ГРП устанавливается на основании расчетов с учетом необходимости устройства одной резервной и линии малого расхода.

ГРП располагается на территории ТЭС в отдельном здании, в пристройках или под навесами.

7.3.9.4 Для ТЭС с суммарным расходом газа до 500 тыс.нм<sup>3</sup>/ч предусматривается сооружение одного ГРП, при большем расходе газа – двух и более ГРП.

Для ТЭС с энергоблоками 800 МВт и более предусматривается, как правило, сооружение ГРП отдельно для каждого блока.

Для электростанций, где газ является основным и единственным видом топлива (при газоснабжении от двух независимых источников и отсутствии мазутного хозяйства) сооружается не менее двух ГРП независимо от мощности ТЭС.

*Примечание: Под двумя независимыми источниками газоснабжения понимаются такие, когда при любой аварии на одном из них в цепочке добыча-переработка-транспортировка от другого сохраняется надежная поставка газа до газораспределительной станции (ГРС) включительно.*

7.3.9.5 При подводе газа от ГРП к котельному отделению рекомендуется принимать в расчетах расход газа по одной нитке не более 200 тыс.нм<sup>3</sup>/час.

Подвод газа от ГРП к распределительному газопроводу котельного отделения и от него к котлам не резервируется.

7.3.9.6 Рекомендуется совмещение ГРП с установкой газовых утилизационных турбин (ГТУ) с целью утилизации давления газа, т.е. создание газотурбинных регулирующих станции (ГТРС).

7.3.10 Подача газа к газотурбинным установкам

7.3.10.1 Система газоснабжения ГТУ включает в себя подводящий газопровод, пункт подготовки газа (ППГ) с дожимными компрессорными станциями (ДКС), наружные и внутренние газопроводы с блоками отключающей арматуры.

Подключение любых других потребителей газа к газопроводам, проложенным как в пределах главного корпуса, так и вне его, не допускается.

7.3.10.2 Качество и параметры подаваемого к газотурбинным установкам природного газа должно соответствовать утвержденным техническим условиям на их поставку.

7.3.10.3 Здания и помещения (укрытия), в которых располагается оборудование пункта подготовки газа, а также блоки арматуры ГТУ, относятся по взрывопожарной опасности к категории А, помещения ГТУ - к категории Г. Степень огнестойкости должна быть не ниже III.

Расстояния от зданий (сооружений) до газопроводов и другие технические решения по системам газоснабжения следует принимать по действующим нормативным документам.

7.3.10.4 В зависимости от давления газа в подводящем газопроводе и требуемого давления перед ГТУ возможны два принципиальных варианта схемы подачи газа - с дожимными компрессорами и без них. Технологическая схема дожимной компрессорной станции может быть как общестанционной, так и блочной.

7.3.10.5 Размещение дожимных компрессоров должны предусматриваться в отдельном здании или в отдельном контейнере, который может примыкать к главному корпусу электростанции. Размещение дожимающих компрессоров в машинном зале ГТУ не допускается.

7.3.10.6 Производительность общестанционной ДКС должна рассчитываться на

максимальный расход газа на ГТУ, а на электростанциях, сжигающих газ сезонно, по расходу газа для летнего режима.

7.3.10.7 При суммарном расходе газа до 300 тыс.м<sup>3</sup>/ч может сооружаться одна общестанционная ДКС. При больших расходах газа должны сооружаться две ДКС и более.

При суммарном расходе газа до 50 тыс.м<sup>3</sup>/ч количество дожимающих компрессоров должно быть не менее двух, один из которых резервный. В зависимости от режима работы ГТУ в энергосистеме при соответствующем обосновании допускается установка третьего компрессора (на случай ремонта).

При суммарном расходе газа свыше 50 тыс.м<sup>3</sup>/ч до 100 тыс.м<sup>3</sup>/ч количество дожимающих компрессоров должно быть не менее трех, а при суммарном расходе свыше 100 тыс.м<sup>3</sup>/ч до 300 тыс.м<sup>3</sup>/ч – не менее четырех.

7.3.10.8 В блочной компрессорной станции независимо от расхода газа дожимающие компрессоры устанавливаются без резерва.

7.3.10.9 Требуемое стабильное давление газа перед стопорными клапанами ГТУ обеспечивается блоком регулирования давления газа, входящим в состав пункта подготовки газа.

7.3.10.10 При эксплуатации газотурбинных и парогазовых установок в базовом режиме подача газа на ТЭС от магистральных газопроводов должна предусматриваться по двум трубопроводам от одной ГРС.

В случае отсутствия хозяйства жидкого топлива в системе ГТУ и ПГУ и работы ГТУ и ПГУ в базовом режиме подачу газа на ТЭС следует предусматривать по двум трубопроводам от одной ГРС, подключенной к двум независимым магистральным газопроводам.

7.3.10.11 Газопроводы должны отвечать всем техническим требованиям, предъявляемым действующими нормативными документами к конструкции, монтажу и контролю качества технологических трубопроводов группы Б I и II категорий.

7.3.10.12 Пункт подготовки газа должен в общем случае обеспечивать: очистку, редуцирование и/или компримирование, подогрев газа, осушку газа для пневмопри-водной арматуры, измерение расхода газа. Технические средства для осуществления указанных операций следует использовать в виде специализированных блоков комплектной заводской поставки.

7.3.10.13 В соответствии с ПУЭ помещения, в которых расположено оборудование систем газоснабжения, относятся по взрывоопасности к зоне класса В-1а, пространство у наружных установок - к зоне класса В-1г.

Эстакады и опоры трубопроводов для горючих газов не относятся к взрывоопасным, за исключением зоны в пределах 3 м по горизонтали и вертикали от арматуры и фланцевых соединений трубопроводов.

7.3.10.14 Для обеспечения взрывопожаробезопасности помещения системы газоснабжения и газотурбинных установок должны быть оснащены светозвуковой сигнализацией и информацией, выведенной на БЩУ и ГЩУ и сигнализирующей о повышении концентрации газа в воздухе более 10% нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПРП).

7.3.10.15 Для предотвращения взрывоопасных ситуаций система газоснабжения и ГТУ должны быть оснащены необходимыми автоматическими защитами и блокировками.

#### **7.4 Масляное хозяйство**

7.4.1 На каждой электростанции должны быть предусмотрены центральный маслосклад или масляное хозяйство турбинных (нефтяного и огнестойкого искусственного), трансформаторного и индустриального масел.

Количество марок трансформаторных масел определяется применяемым оборудованием.

При соответствующем технико-экономическом обосновании возможно сооружение масляного хозяйства для группы ТЭС.

7.4.2 На маслоскладе ТЭС должен храниться постоянный запас:

- нефтяного турбинного масла в количестве равном (или более) вместимости маслосистемы самого крупного агрегата и запас на доливки не менее 45-дневной потребности;

- огнестойкого турбинного масла не менее годовой потребности его на доливки для одного турбоагрегата;

- индустриального масла для вспомогательного оборудования не менее 45-дневной потребности.

7.4.3 Маслохозяйство должно включать в себя открытый склад масел, маслоап-паратные и складские помещения вспомогательных смазочных средств, сорбентов, фильтровальных элементов, присадок, реагентов и прочих материалов, расположенные в одном здании, а также насосы и трубопроводы для приема и перекачки масел.

7.4.4 На открытом складе должны устанавливаться по четыре бака турбинных (нефтяного и огнестойкого искусственного) и трансформаторных (разных марок) масел и два бака индустриального масла для ТЭС на твердом топливе (для углеразмоль-ных мельниц, турбоприводов воздуходувок и др.).

В баках склада должно предусматриваться хранение турбинных и трансформаторных масел трех состояний: свежее, регенерированное и отработанное. При этом должно быть не менее двух баков свежего турбинного масла и не менее двух баков свежего трансформаторного масла.

7.4.5 Емкость одного бака свежего турбинного, трансформаторного и индустриального масел должна быть не менее емкости железнодорожной цистерны, т.е. 60 м<sup>3</sup>. Емкость каждого бака свежего масла должна обеспечивать хранение запаса в количестве не менее:

- для турбинного масла - емкости масляной системы одного агрегата с наибольшим объемом масла и доливки масла в размере 45-суточной потребности всех агрегатов;

- для трансформаторного масла - емкости одного наиболее крупного трансформатора с данной маркой масла с 10% запасом.

Если единичная емкость бака для турбинного и трансформаторного масел будет меньше указанных величин, то необходимо соответственно увеличивать количество или единичную емкость баков.

Емкость баков отработанного и регенерированного турбинного и трансформаторного масел должна обеспечивать прием и хранение масла из одного наиболее мас-лосъемного турбоагрегата или наиболее крупного трансформатора.

7.4.6 Для сбора и хранения отработанных масел, утративших эксплуатационные качества, на открытом складе должны предусматриваться к установке один бак для нефтяных масел и один для ОМТИ емкостью не менее 60 м<sup>3</sup>, откуда это масло вывозится в железнодорожной цистерне для сдачи на нефтебазу, нефтеперерабатывающий завод или региональные пункты регенерации масел.

7.4.7 Каждый бак должен быть оборудован одним и более адсорбционным воз-духоосушительным фильтром, а также указателем уровня масла.

На электростанциях, расположенных в районах с расчетными температурами ниже температуры застывания масла, баки турбинного масла и коммуникации маслопроводов должны иметь тепловую изоляцию и систему обогрева.

7.4.8 Маслоаппаратные для каждого вида масел: турбинного нефтяного, турбинного, огнестойкого искусственного, трансформаторных (всех марок) и индустриального должны быть расположены в отдельных помещениях и включать в себя мас-лоочистительную аппаратуру, расходные баки, насосы для приема и

перекачки масел, фильтры, установки для очистки, осушки и регенерации масел, а также ввода в них присадок.

Дегазация трансформаторных масел должна производиться на месте ремонта (монтажа) трансформаторов при помощи инвентарного комплекса технологического оборудования.

В масляном хозяйстве должна предусматриваться установка по осушке и регенерации адсорбентов (силикагеля, цеолита и др.).

7.4.9 Для подачи масла к энергооборудованию и слива его на маслохозяйство должны быть предусмотрены отдельные стационарные напорные и сливные маслопроводы турбинного (нефтяного и ОМТИ) и трансформаторного масел.

Маслопроводы должны изготавливаться из бесшовных труб из углеродистых и низколегированных сталей по специальным техническим условиям и прокладываться по эстакаде или в канале.

7.4.10 Для учета поступающих на склад и отпускаемых на эксплуатацию энергооборудования масел должны устанавливаться счетчики на трубопроводах приема и отпуска.

7.4.11 Для хранения вспомогательных смазочных средств в количестве 45-суточной потребности всех агрегатов, силикагеля и цеолит, а также присадок для масел в здании масляного хозяйства должно быть предусмотрено специальное складское помещение.

7.4.12 Во всех маслоаппаратных и складских помещениях должны быть предусмотрены средства малой механизации ремонтных и разгрузочных работ.

7.4.13 Не допускается размещение помещений для хранения масел над кабельными сооружениями и щитовыми помещениями, а также под ними.

## **8 ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ**

8.1 Расчетная тепловая мощность ТЭС определяется при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления как сумма расчетных тепловых нагрузок всех присоединённых потребителей, расчетных расходов тепла на собственные нужды ТЭС, а также расчетных часовых потерь тепла на ТЭС и в подключенных к ней магистральных и распределительных тепловых сетях.

8.2 Потери тепла для вновь проектируемых тепловых сетей определяются в соответствии с действующими нормативно-техническими документами на тепловую изоляцию, а для действующих магистральных и распределительных тепловых сетей - по величине нормируемых эксплуатационных потерь на основании предоставленных Владелец сетей данных, согласованных Заказчиком.

Потери тепла в паровых сетях принимаются по расчету с учетом потерь конденсата.

8.3 Расходы тепла на горячее водоснабжение в расчетных тепловых нагрузках и балансах ТЭС (в режиме при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления) учитываются:

- бытовые - по величине среднечасового расхода тепла и воды за отопительный период с коэффициентом 1,2;
- технологические - по величине среднечасового расхода тепла за смену наибольшего теплопотребления.

В балансовых расчетах при других режимах в отопительный период бытовая нагрузка горячего водоснабжения учитывается по средне-часовому расходу тепла за отопительный период.

8.4 Схема трубопроводов теплофикационных установок ТЭС должна быть секционирована по сетевой воде. Входные (выходные) коллектора сетевой воды допускается выполнять кольцевыми.

Количество секций определяется количеством турбоагрегатов, сетевых насосов и тепломагистралей, а также из условий безопасной эксплуатации, удобства ремонта

сетевых трубопроводов и предотвращения затопления помещений и оборудования ТЭС в аварийных ситуациях (при повреждении сетевых трубопроводов).

При аварийном выводе в ремонт в отопительный период отдельных секций входных и выходных коллекторов сетевой воды ТЭС должна быть обеспечена работа всех подключенных к ТЭС тепломагистралей, а расходы и давления в них не должны отклоняться от допустимых (по условиям надежности) величин, определяемых организацией проектирующей магистральные тепловые сети от ТЭС.

При этом снижение отпуска тепла потребителям за счет снижения расходов и температуры сетевой воды допускается принимать в соответствии с п.3.1.6 настоящих Норм.

По согласованию с Заказчиком (энергоснабжающей организацией) допускается вместо резервирования тепломагистралей на ТЭС предусматривать резервирование подачи тепла потребителям от других источников, совместно работающих с данной ТЭС на общие тепловые сети.

8.5 Схемы стационарных сетевых трубопроводов, коллекторов, системы контроля и управления (СКУ) технологическими процессами должны обеспечивать расчетные давления и температуру теплоносителя на каждом выводе тепломагистралей ТЭС и не допускать температурных «перекосов» за счет неравномерностей в распределении сетевой воды между теплофикационными турбоустановками.

8.6 На трубопроводах сетевой воды теплофикационных установок следует предусматривать устройства для защиты теплофикационного оборудования ТЭС (сетевых подогревателей и пиковых водогрейных котлов), магистральных и распределительных тепловых сетей и оборудования потребителей тепла от повышения давления сетевой воды выше допустимого из-за снижения расходов сетевой воды, при гидроударах и других нарушениях гидравлического режима в системе теплоснабжения.

8.7 Наружная поверхность сетевых стационарных трубопроводов должна иметь антикоррозионное покрытие и тепловую изоляцию в соответствии с действующими нормативными документами.

8.8 Основные подогреватели сетевой воды на ТЭС устанавливаются индивидуально у каждой турбины без резерва и общая паровая магистраль по теплофикационным отборам 0,12 МПа (1,2 кгс/см<sup>2</sup>) может не предусматриваться.

В целях использования избытков пара энергетических котлов и производственных отборов турбин допускается установка пиковых сетевых подогревателей. Целесообразность их установки обосновывается технико-экономическим расчетом с учетом вопросов надежности.

8.9 Подогреватели сетевой воды на ТЭС устанавливаются не менее чем на двух блоках. При этом в случае вывода из работы одного блока оставшиеся в работе должны обеспечить 100% тепловой расчетной нагрузки присоединенных потребителей.

8.10 Сетевые насосы ТЭС предусматриваются индивидуальными, т.е. с установкой насосов у каждой турбины или групповыми без привязки насосов к конкретной турбине.

Количество сетевых насосов следует принимать не менее двух, один из которых является резервным. При пяти рабочих сетевых насосах в одной группе резервный насос допускается не устанавливать.

Выбор сетевых насосов производится в соответствии с гидравлическим расчетом зимних и летних режимов работы системы теплоснабжения и с учетом:

- статического режима тепловых сетей;
- возможного сброса тепловой нагрузки (снижения расходов сетевой воды в тепловых сетях) в ночные часы и в выходные дни;
- увеличения расхода сетевой (греющей) воды на вакуумные деаэраторы в

режиме максимального водозабора из подающих трубопроводов при минимальной температуре греющей воды.

Количество подпиточных насосов принимается не менее двух в закрытой системе и не менее трех в открытой системе теплоснабжения. При этом один насос является резервным.

В целях деления водяной тепловой сети на зоны (в узлах рассечки) допускается в закрытых системах теплоснабжения устанавливать один подпиточный насос без резерва, а в открытых системах – один рабочий и один резервный насосы.

При изменениях расходов сетевой воды, связанных с суточным регулированием расходов сетевой воды в системе теплоснабжения, предусматривается регулируемый привод сетевых и подпиточных насосов. Необходимость установки и тип регулируемого привода насосов обосновывается в проекте.

При значительной разнице в гидравлических режимах отдельных магистралей тепловых сетей допускается при технико-экономическом обосновании установка самостоятельных групп сетевых и подпиточных насосов для различных магистралей или сооружение отдельных гидравлически несвязанных между собой тепловых сетей.

Допускается предусматривать установку отдельных групп подпиточных насосов с различными напорами для отопительного, неотапливаемого периодов и для статического режима.

Общая производительность сетевых и подпиточных насосов определяется из условий работы на общие тепловые сети и должна учитывать возможное увеличение расходов воды сверх расчетного на 10%.

8.11 Электроснабжение сетевых и подпиточных насосов должно выполняться согласно ПУЭ, как для электроприемников I категории.

8.12 Обеспечение ТЭС исходной водой для подпитки тепловых сетей должно осуществляться с учетом 100%-ного резервирования подачи расчетного часового расхода подпиточной воды (прокладка двух трубопроводов, рассчитанных каждый на 100% расчетного часового расхода подпиточной воды, сооружение резервной ёмкости на ТЭС и т.п.).

Независимо от давления водопроводной воды на вводе ТЭС необходимо предусматривать установку насосов сырой воды на случай падения давления в водопроводной сети ниже расчетных значений.

8.13 Расчетный часовой расход воды для определения производительности во-доподготовки, деаэрационных установок и другого оборудования, связанного с подготовкой воды для подпитки тепловых сетей, а также пропускной способности соединительных трубопроводов следует принимать:

- в закрытых системах теплоснабжения - равным 0,75% фактического объёма воды в трубопроводах тепловых сетей и в присоединённых к ним системах отопления и вентиляции потребителей плюс 0,5% объёма воды в транзитных тепломагистралях;
- в открытых системах теплоснабжения - равным среднечасовому расходу воды на горячее водоснабжение за отопительный период с коэффициентом 1,2 плюс 0,75% фактического объёма воды в трубопроводах тепловых сетей и в присоединённых к ним системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения потребителей и 0,5% объёма воды в транзитных тепломагист-ралях;
- для отдельных тепловых сетей горячего водоснабжения при наличии баков-аккумуляторов – равным расчетному среднему расходу воды на горячее водоснабжение с коэффициентом 1,2; при отсутствии баков – по максимальному расходу воды на горячее водоснабжение плюс (в обоих случаях) 0,75% фактического объёма воды в трубопроводах сетей и присоединенных к ним системам горячего водоснабжения зданий.

8.14 При отсутствии фактических данных по объёму воды в системе теплоснабжения указанную величину допускается принимать (при температурном

графике 150-70°С) из расчета:

- при закрытой системе – 65 м<sup>3</sup> на 1 МВт.ч суммарной расчетной нагрузки подключённой к ТЭЦ;
- при открытой системе – 70 м<sup>3</sup> на 1 МВт.ч суммарной расчетной нагрузки подключенной к ТЭЦ;
- при отдельных сетях горячего водоснабжения – 30 м<sup>3</sup> на 1 МВт.ч средней нагрузки.

Объём воды в транзитных тепломагистралях должен учитываться отдельно.

8.15 Для закрытых систем теплоснабжения должна предусматриваться дополнительная аварийная подпитка тепловых сетей химически необработанной и недеаэрированной технической водой в размере 2% от объёма воды в системе.

Для открытых систем теплоснабжения аварийная подпитка возможна только водой из хозяйственно-питьевого водопровода в размере 2% от объёма воды в системе.

При наличии нескольких изолированно работающих тепломагистралей, отходящих от источника тепла, по согласованию с Заказчиком часовой расход аварийной подпитки системы теплоснабжения допускается определять по одной магистрали наибольшего диаметра.

Трубопровод аварийной подпитки системы теплоснабжения должен соединяться с трубопроводами основной схемы подпитки через две последовательно установленные задвижки с контрольным краном между ними.

На трубопроводе аварийной подпитки должен быть установлен прибор, регистрирующий расход и количество технической воды при включении в работу аварийной схемы подпитки системы теплоснабжения.

8.16 На источнике тепла должно устанавливаться не менее 25% объёма от общей необходимой суммарной ёмкости баков для системы теплоснабжения в целом.

Остальные баки-аккумуляторы (если не все баки размещены на ТЭС) устанавливаются в районах теплоснабжения.

В открытых системах теплоснабжения, а также при отдельных тепловых сетях на горячее водоснабжение должны предусматриваться баки-аккумуляторы химически обработанной и деаэрированной подпиточной воды ёмкостью, равной десятикратной величине среднечасового расхода воды на горячее водоснабжение за отопительный период.

В закрытых системах теплоснабжения на ТЭС мощностью 100 МВт и более следует предусматривать установку баков запаса химически обработанной и деаэрированной подпиточной воды ёмкостью, равной 3% от объёма воды в системе теплоснабжения.

Схема включения баков запаса должна обеспечивать периодическое обновление в них воды.

Количество баков независимо от системы теплоснабжения принимается не менее двух по 50% рабочего объёма каждый.

8.17 В качестве баков-аккумуляторов и баков запаса подпиточной воды должны приниматься резервуары, специально разработанные для горячей воды.

Использование резервуаров, предназначенных для нефтепродуктов, не допускается.

Внутренняя и наружная поверхности баков должны быть защищены от коррозии, а вода в баках - от аэрации.

8.18 Конструкция баков-аккумуляторов и их размещение на территории ТЭС должны отвечать требованиям ведомственного противоаварийного циркуляра о предотвращении разрушений баков-аккумуляторов горячей воды.

8.19 Трубопроводы, детали трубопроводов, запорная и регулирующая арматура сетевых трубопроводов от сетевых насосов второго подъёма или сетевых трубопроводов первого подъёма при одноступенчатой схеме подачи сетевой воды



должны проектироваться на условное давление 2,5 МПа (25 кгс/см<sup>2</sup>).

Для обратных сетевых трубопроводов ТЭС до сетевых насосов второго подъёма это давление принимается по давлению, требуемому в системе централизованного теплоснабжения, но не менее 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>).

8.20 Расчетные расходы сетевой воды для определения диаметров трубопроводов теплофикационных установок ТЭС определяются по нормам, принятым для магистральных тепловых сетей.

Максимальная величина потерь давления по тракту сетевых трубопроводов теплофикационных установок ТЭС, как правило, не должно превышать одной трети суммарного напора первой и второй ступени сетевых насосов.

Расчётный напор на выводах тепломагистралей должен обеспечиваться во всех режимах работы теплофикационного оборудования ТЭС.

8.21 Гидравлические режимы (расходы и давления) на выводах тепломагистралей ТЭС в отопительный и неоперительный периоды при максимальных и минимальных часовых расходах сетевой воды определяются организацией, проектирующей магистральные тепловые сети.

Для открытых систем теплоснабжения гидравлические режимы дополнительно разрабатываются при максимальном водоразборе только из подающего трубопровода и при максимальном водоразборе только из обратного трубопровода в отопительный период.

8.22 Трубопроводы тепловых сетей от коллекторов ТЭС, проходящие по её территории, должны входить в состав сооружений электростанции.

Установку головных задвижек на выводах тепломагистралей рекомендуется предусматривать у неподвижной опоры вблизи границы территории (внутри ограждения) ТЭС.

Конкретное место установки головных задвижек определяется проектной организацией по согласованию с владельцем источника тепла.

## **9 ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **9.1 Главные схемы электрических соединений**

9.1.1 Главные схемы электрических соединений тепловых электростанций должны выбираться на основании утвержденной схемы развития энергосистемы и номинального напряжения сети, к которой присоединяется данная электростанция, а также с учетом общей и единичной мощности и вида устанавливаемых агрегатов.

Схема выдачи мощности должна быть построена так, чтобы повреждение в сети не приводило к полному останову электростанции или потере собственных нужд.

9.1.2 Главная схема электрических соединений должна разрабатываться с учетом следующих положений и исходных данных, которые выдаются разработчиками схем электро- и теплоснабжения для каждого из этапов развития электростанции и энергосистемы:

9.1.2.1 Схема и номинальное напряжение сети в месте присоединения электростанции к энергосистеме, количество отходящих от электростанции линий на каждом напряжении. Графики нагрузки в рабочие и выходные дни на каждом из напряжений (летний, зимний, число часов использования максимума, паводковый период). Распределение генерирующей мощности между распределительными устройствами различного напряжения. Присоединение одного или нескольких блоков данной электростанции непосредственно к распределительным устройствам ближайших подстанций. Схема выделения станции со сбалансированной нагрузкой.

9.1.2.2 Предварительная величина системных перетоков и перетоков между распределительными (РУ) различных напряжений и распределение генераторов между ними. Категория потребителей и величина местной нагрузки.

9.1.2.3 Необходимость установки на электростанции средств системного регулирования (регулируемые реакторы, асинхронизированные турбогенераторы и

т.п.). Наличие, характер и размер потоков обменной мощности.

9.1.2.4 Значения токов коротких замыканий для каждого из РУ повышенных напряжений в максимальных и минимальных режимах, а также восстанавливающееся напряжение на контактах выключателей соответствующего ОРУ. Специальные требования к схеме соединений в отношении устойчивости параллельной работы. Необходимость секционирования схемы и установки шунтирующих реакторов, других компенсирующих устройств. Требования к регулированию напряжений на РУ. Требования, вытекающие из системы противоаварийной автоматики. Режимы работы нейтрали трансформатора главной схемы электростанции.

9.1.2.5 Значение наибольшей мощности, которая может быть потеряна при отказе в отключении или повреждении любого выключателя (в том числе шиносоединительного, секционного или развилки шинных разъединителей), допустимой по наличию резервной мощности в энергосистеме и по пропускной способности как линий внутри системы, так и межсистемных связей, а также по условиям обеспечения бесперебойности теплоснабжения потребителей.

9.1.2.6 Применение, как правило, на электростанции не более двух РУ повышенных напряжений.

9.1.2.7 Обеспечение при системных авариях питания собственных нужд в первую очередь путем отделения электростанции или ее части с примерно сбалансированной нагрузкой или выделение энергоблоков для питания собственных нужд. Выделение электростанции или блоков в этом случае должно определяться производственным энергетическим объединением.

9.1.2.8 Главные схемы электрических соединений теплофикационных электростанций должны проектироваться в увязке со схемами распределительных сетей и схемами электроснабжения промышленных предприятий или городов, а также по условию обеспечения надежности теплоснабжения потребителей.

9.1.2.9 Схема соединения электростанций должна разрабатываться для каждого из этапов развития для нормальных режимов эксплуатации и для режимов при выводе основного оборудования электростанции в ремонт или резерв.

9.1.3 Связь двух распределительных устройств повышенного напряжения на ТЭС, при необходимости, выполняется с помощью трехобмоточных трансформаторов или автотрансформаторов. При этом должны учитываться перспективы нагрузок на обоих напряжениях.

Трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы могут использоваться для связи двух РУ повышенных напряжений как по схеме блока генератор-трансформатор, так и в виде отдельных трансформаторов. Выбор варианта связи производится технико-экономическим сравнением.

Для каждого сочетания напряжений устанавливается, как правило, по два трех-обмоточных трансформатора или автотрансформатора. Установка одного трех-обмоточного трансформатора (автотрансформатора) или отказ от трансформаторов связи принимаются на основе технико-экономического обоснования.

9.1.4 Количество и мощность трансформаторов связи РУ генераторного напряжения с РУ повышенного напряжения должны выбираться таким образом, чтобы при выводе из работы одного трансформатора оставшиеся в работе трансформаторы, с учетом их перегрузочной способности, обеспечивали:

9.1.4.1 Выдачу в сеть повышенного напряжения всей активной и реактивной мощности генераторов за вычетом нагрузок собственных нужд и нагрузок РУ генераторного напряжения в период минимума последних.

9.1.4.2 Питание потребителей, присоединенных к РУ генераторного напряжения:

- в период максимума нагрузок при выходе из работы одного наиболее мощного генератора, присоединенного к РУ генераторного напряжения;

- в весенне-летний период при остановке в ремонт или резерв части генераторов или одного наиболее мощного из присоединенных к РУ генераторного напряжения, в связи с сильным снижением тепловых нагрузок либо по условиям оптимизации режима работы энергосистемы при паводках или для экономии сжигаемого на ТЭЦ топлива.

9.1.5 Трансформаторы (автотрансформаторы) на электростанциях принимаются трехфазными. В случае невозможности поставки заводами трехфазных трансформаторов необходимой мощности или при наличии транспортных ограничений допускается применение группы из однофазных трансформаторов.

9.1.6 При установке в блоках с генераторами повышающих трехфазных трансформаторов предусматривается резервный неприсоединенный трехфазный трансформатор (один на шесть и более однотипных рабочих трансформаторов).

Для группы из однофазных трансформаторов, устанавливаемых в блоке с генератором, предусматривается резервная фаза, которая заказывается с первым блоком.

При установке одной группы однофазных автотрансформаторов связи должна одновременно устанавливаться резервная фаза. При двух группах однофазных автотрансформаторов связи резервная фаза с первой группой, как правило, не устанавливается, однако, необходимо предусматривать опережающую установку фазы от второй группы на период работы только одной группы. Присоединение резервной фазы должно осуществляться путем перекачки ее на место заменяемой фазы.

9.1.7 Блочные повышающие трансформаторы (автотрансформаторы) должны, как правило, иметь ПБВ или РПН. Трансформаторы и автотрансформаторы связи должны иметь регулирование напряжения под нагрузкой.

При использовании третьей обмотки автотрансформатора необходимость установки линейных регулировочных трансформаторов определяется в каждом конкретном случае.

9.1.8 Для ограничения токов короткого замыкания при распределении электроэнергии на генераторном напряжении рекомендуется применять реакторы.

Для распределительных устройств с реактированными линиями должна применяться, как правило, схема «шины-реактор-выключатель-линия». Для расширяемых распределительных устройств допускается применять также схему «шины-выключатель-реактор-линия».

При необходимости ограничения токов короткого замыкания допускается раздельная работа секций РУ генераторного напряжения при параллельной работе на повышенном напряжении, если при этом обеспечивается надежное питание потребителей.

9.1.9 Присоединение генератора к РУ повышенного напряжения должно выполняться, как правило, через отдельный трансформатор.

В исключительных случаях, при наличии технико-экономического обоснования, разрешается попарное присоединение трансформаторов двух блоков на стороне повышенного напряжения, либо присоединение двух генераторов к одному трансформатору с расщепленными обмотками.

9.1.10 Схемы соединений распределительных устройств 35-750 кВ должны удовлетворять требованиям по надежности электро- и теплоснабжения.

9.1.10.1 На электростанциях с блочной электрической схемой отказ в отключении или повреждение любого из выключателей (кроме секционного и шиносоединительного) не должны, как правило, приводить к отключению более одного блока и одной или нескольких линий, которое допустимо по условию устойчивости энергосистемы.

При отказе в отключении или повреждении секционного или шиносоединительного выключателей, а также при совпадении повреждения или отказа

одного из выключателей с ремонтом любого другого допускается одновременное отключение двух блоков и линий, если при этом сохраняется устойчивость работы энергосистемы или ее части. При этом не допускается полный останов ТЭС.

9.1.10.2 На теплоэлектростанциях допускаемое число и суммарная мощность одновременно отключаемых агрегатов или повышающих трансформаторов при повреждении или отказе любого выключателя определяются как по условиям сохранения устойчивости работы энергосистемы, так и обеспечения электро- и теплоснабжения потребителей, с учетом резерва систем и других источников электро- и теплоснабжения. Повреждение секционного или шиносоединительного выключателя не должно приводить к полной остановке ТЭЦ.

9.1.10.3 Повреждение (отказ) любого выключателя не должно, как правило, приводить к отключению более одной цепи транзита напряжением 110 кВ и выше, если транзит состоит из двух параллельных цепей.

9.1.10.4 Отключение линии со стороны электростанции производится, как правило, не более чем двумя выключателями. Отключение повышающих трансформаторов, трансформаторов связи, трансформаторов собственных нужд производится, как правило, не более чем двумя выключателями с каждой стороны.

При прочих равных условиях предпочтение должно отдаваться схеме, в которой отключение отдельных цепей осуществляется меньшим числом выключателей.

9.1.10.5 Ремонт любого из выключателей распределительного устройства напряжением 110 кВ и выше (за исключением КРУЭ) должен быть возможен, как правило, без отключения присоединения.

9.1.10.6 При питании от РУ двух резервных трансформаторов собственных нужд электростанции должна быть исключена возможность потери обоих.

9.1.10.7 При наличии нескольких вариантов схем, удовлетворяющих требованиям надежности, в том числе, перечисленным выше, предпочтение отдается:

- более простому и экономичному варианту, как по конечной схеме, так и по этапам ее развития;
- варианту, по которому требуется наименьшее количество операций с выключателями и разъединителями РУ повышенного напряжения при оперативных переключениях.

9.1.11 При выборе электрической схемы рекомендуется отдавать предпочтение присоединению блоков к районным подстанциям по схеме «повышающий трансформатор-линия» с выключателем генераторного напряжения и с выключателем или без него в цепи линии на электростанции.

При подключении блоков ТЭС к районным подстанциям последние должны удовлетворять требованиям надежности распределительных устройств ТЭС.

9.1.12 Для распределительных устройств с числом присоединений не более четырех рекомендуется применение схем треугольника (на переходный период), четырехугольника или мостика в зависимости от условий схемы электрических сетей.

Для распределительных устройств с большим числом присоединений могут применяться различные схемы в зависимости от напряжений.

При напряжениях 35-220 кВ:

- с одной секционированной и обходной системами шин. Обходная система шин может не предусматриваться, за исключением РУ, от которых запитаны особо ответственные потребители I категории при соответствующем обосновании;
- схема многоугольника;
- с двумя основными и третьей обходной системами шин, с одним выключателем на цепь (при наличии комплексных технико-экономических обоснований). Обходная система шин может не предусматриваться, за исключением РУ, от которых запитаны особо ответственные потребители первой категории.

В РУ с двумя основными и третьей обходной системами шин, при числе

присоединений (линий, трансформаторов) 11 и менее системы шин не секционируются; при числе присоединений 12 и более секционируется выключателями на две части каждая из двух основных систем шин.

Для реконструируемых объектов в случае отсутствия места для расширения РУ допускается не выполнять секционирование шин.

Блоки мощностью 500 МВт и выше и автотрансформаторы связи мощностью 500 МВА и выше должны присоединяться к РУ 220 кВ через два выключателя к разным системам сборных шин РУ:

- с двумя системами шин, с 3 выключателями на 2 цепи (схема «3/2») при наличии не менее трех связей между системами шин. Допускается секционирование систем шин по условиям надежности;
- с двумя системами шин, с 4 выключателями на 3 цепи (схема «4/3»), при наличии не менее трех связей между системами шин. Допускается секционирование систем шин по условиям надежности.

При напряжениях 330-750 кВ:

- с двумя системами шин, с 4 выключателями на 3 цепи (схема «4/3»), при наличии не менее трех связей между системами шин. Допускается секционирование систем шин по условию надежности;
- схема многугльника;
- с двумя системами шин, с 3 выключателями на 2 цепи (схема «3/2»), при наличии не менее трех связей между системами шин. Допускается секционирование систем шин по условию надежности.

Допускается применение других схем при надлежащем обосновании. При разработке схем должны выбираться варианты, обеспечивающие требуемую надежность, а затем из них более экономичный вариант.

9.1.13 В распределительных устройствах 110-220 кВ, выполненных с обходной системой шин, в качестве обходных выключателей следует предусматривать:

- отдельные выключатели на каждой секции шин - в схемах с одной системой шин;
- отдельный выключатель - в схеме с двумя основными и третьей обходной системами шин при отсутствии секционирования;
- два отдельных выключателя - в схеме с двумя основными и третьей обходной системами шин при наличии секционирования основных систем шин.

9.1.14 При выборе и заказе синхронных и асинхронизированных турбогенераторов предпочтение отдается генераторам с жидкостным или воздушным охлаждением. Тип турбогенератора определяется генеральным проектировщиком по согласованию с Заказчиком.

9.1.15 Генераторы ТЭС должны иметь тиристорную систему возбуждения с полным внутренним резервированием, либо бесщеточную систему возбуждения. При этом, резервная система возбуждения для электростанций не предусматривается.

9.1.16 Выпрямительный трансформатор системы тиристорного возбуждения генератора для обеспечения работы ТПУ должен быть подключен между генераторным выключателем и повышающим трансформатором. Рекомендуется подключение системы возбуждения генератора к отдельной специальной обмотке блочного трансформатора.

9.1.17 РУ генераторного напряжения выполняется, как правило, с одной системой шин, с применением КРУ и реакторов для питания потребителей.

Для ТЭЦ с поперечными связями рекомендуется между секциями РУ генераторного напряжения устанавливать два секционных выключателя по обе стороны секционного реактора. Допускается питание потребителей на генераторном напряжении выполнять с помощью ответвлений от генераторов без их параллельной работы на генераторном напряжении.

9.1.18 При соединении генераторов в блоки с трехобмоточными трансформаторами или автотрансформаторами, а также при спаренных блоках между генератором и трансформатором должен устанавливаться выключатель.

В блоке между генератором и двухобмоточным повышающим трансформатором должен устанавливаться генераторный выключатель. При отсутствии выключателя на соответствующий ток отключения допускается применение выключателей нагрузки.

Между генераторным выключателем и повышающим трансформатором предусматривается разъединитель с дистанционным приводом.

9.1.19 При выполнении ответвлений от генератора к рабочему источнику питания собственных нужд закрытыми комплектными пофазными токопроводами и при наличии вплоть до выключателей на низкой стороне трансформаторов собственных нужд закрытых шинопроводов с разделительными междуфазными перегородками никакой коммутационной аппаратуры на ответвлении перед трансформаторами собственных нужд не устанавливается, а предусматриваются лишь шинные разъемы. Допускается в качестве шинных разъемов использовать компенсаторы в месте подключения токопроводов к трансформаторам. На ответвлениях от блоков генератор-трансформатор к трансформаторам собственных нужд, выполняемых открытой ошиновкой или кабелями, устанавливаются выключатели, рассчитанные на короткое замыкание на открытой ошиновке или кабелях.

## **9.2 Главные схемы электрических соединений ТЭС с ПГУ**

9.2.1 Разработка главной схемы электростанции выполняется на основании следующих исходных данных:

9.2.1.1 Виды и назначение установок (ПГУ утилизационного типа, ПГУ со сбросом отработанных газов в паровой котел, ПГУ с вытеснением регенерации в паротурбинной части, пиковая ГТУ и другие), состав и мощности основного теплотехнического оборудования и механизмов собственных нужд.

9.2.1.2 Схема и номинальное напряжение сети в месте присоединения электростанции к энергосистеме, количество отходящих линий от электростанции на каждом напряжении; распределение генерирующей мощности между распределительными устройствами различного напряжения; присоединение одного, нескольких блоков или агрегатов данной электростанции непосредственно к распределительным устройствам ближайших подстанций; схема выделения станции со сбалансированной нагрузкой.

9.2.1.3 Предварительная величина системных перетоков и перетоков между распределительными устройствами различного напряжения электростанции, категория потребителей и величина местной нагрузки.

Значение наибольшей мощности, которая может быть потеряна при отказе в отключении или повреждении любого коммутационного аппарата (в том числе шино-соединительного или секционного, или развилки шинных разъединителей), допустимой по наличию резервной мощности в энергосистеме и по пропускной способности системных, межсистемных линий связи, а также по условиям обеспечения бесперебойности теплоснабжения потребителей.

9.2.1.4 Значения токов коротких замыканий для каждого из РУ повышенных напряжений в максимальных и минимальных режимах, а также восстанавливаемое напряжение на контактах выключателей соответствующего РУ. Специальные требования к схеме соединений в отношении устойчивости параллельной работы. Необходимость секционирования схемы и установки шунтирующих реакторов, других компенсирующих устройств. Требования к регулированию напряжений на РУ. Требования, вытекающие из системы противоаварийной автоматики. Режимы работы нейтрали трансформатора главной схемы электростанции.

9.2.2 Электростанции с установками ГТУ и ПГУ малой мощности (2,5-25 МВт)

сооружаются, как правило, для электроснабжения и теплоснабжения местных потребителей, а также и при реконструкции существующих станций.

При проектировании главной схемы такой электростанции она должна координироваться со схемой электроснабжения предприятий и населенных пунктов или реконструируемой станции.

Рекомендуются:

- схемы с присоединением к ГРУ 10-6 кВ реконструируемой ТЭЦ или к главному распределительному пункту подстанции (ГПП);
- схемы блоков с повышающими трансформаторами в том числе с расщепленными обмотками с присоединением к энергосистеме и с ответвлениями на генераторном напряжении или блоки без ответвлений;
- схемы с сооружением ГРУ 10-6 кВ и присоединением к нему генераторов ГТУ, ПГУ и трансформаторов связи с системой.

При разработке главной электрической схемы для повышения устойчивости работы ГТУ рекомендуется подключать местную нагрузку на генераторном напряжении. Например, при отключении от системы или сбросе части нагрузки на высоком напряжении по условиям аварийных режимов, как правило, надо предусматривать сохранение нагрузки на генераторном напряжении, достаточной для удержания в работе газовой турбины.

Величина нагрузки, при которой турбина работает устойчиво, определяется в ТУ турбины.

В случае если ГТУ или ПГУ питают только местную сеть или сеть промпредприятия, с энергосистемой должны быть согласованы источники резервного питания собственных нужд и возможность потребления и выдачи избыточной мощности электростанции.

9.2.3 На электростанциях с парогазовыми и газотурбинными установками присоединение генераторов к РУ повышенного напряжения в зависимости от вида и назначения установки, единичной мощности и количества генераторов в составе энергоблока может производиться следующими способами:

- через отдельный повышающий трансформатор;
- через трансформатор с расщепленной обмоткой (при величине отбора мощности на генераторном напряжении не более 5%);
- через трансформатор связи ГРУ с РУ повышенного напряжения;
- через третичную обмотку автотрансформатора связи;
- от 2-х до 3-х генераторов через один общий повышающий трансформатор (укрупненный блок).

9.2.4 В цепи каждого генератора на генераторном напряжении устанавливается выключатель и разъединитель, а в случае объединения двух агрегатов генератор-трансформатор (спаренный блок) и более (объединенный блок) – разъединители с дистанционным управлением на повышенном напряжении этих трансформаторов.

9.2.5 В зависимости от технологии паровая и газотурбинная части ПГУ могут работать самостоятельно или в общем цикле. В связи с этим генераторы, которые сопряжены с паровой и газовой турбинами одного блока ПГУ, рекомендуется коммутировать индивидуальными или общими присоединениями на шины повышенного напряжения.

9.2.6 Для парогазовой установки с вытеснением регенерации схема присоединения генераторов к РУ повышенного напряжения должна обеспечивать независимость работы (в том числе пуска, останова, вывода в ремонт или резерв) генераторов газотурбинных установок от режима работы генератора паротурбинной части энергоблока.

9.2.7 Для электростанций с ГТУ, работающих в пиковом режиме, схема

присоединения генераторов ГТУ к РУ одного повышенного напряжения не должна допускать одновременное отключение более половины ГТУ (или их количество должно быть согласовано с энергосистемой) при повреждении или отказе в отключении выключателя (в том числе и секционного или шиносоединительного) или развилки шинных разъединителей.

9.2.8 Для парогазовых установок со сбросом отработанных газов газотурбинной установки в паровой котел, используемый также для теплофикации, допускается каждый генератор подключать к РУ повышенного напряжения через отдельный повышающий трансформатор, если при отключении любого из генераторов не требуется останов парогазового энергоблока.

9.2.9 Для газотурбинных установок, работающих на подогрев сетевой воды, схема подключения генераторов к РУ повышенного напряжения определяется требованиями надежности теплоснабжения потребителей.

9.2.10 Присоединение генераторов парогазовых и газотурбинных установок к ГРУ, а также трансформаторов блоков и связи к РУ повышенного напряжения допускается производить с применением силовых кабелей.

9.2.11 При техническом перевооружении и реконструкции энергоблоков путем перехода на парогазовые установки, а также для пиковых газотурбинных установок, на электростанции может быть сооружено отдельное РУ повышенного напряжения.

Отдельное РУ повышенного напряжения может быть предусмотрено в случае такой компоновки парогазового энергоблока, когда линии выдачи мощности паротурбинных агрегатов и газотурбинных агрегатов направлены в разные стороны от главного корпуса.

9.2.12 При проектировании главной схемы электростанции с распределительным устройством генераторного напряжения следует отдавать предпочтение вариантам схем, при которых величины тока короткого замыкания в цепях генераторного напряжения 10-6 кВ не превосходят величин  $I_{отк} \leq 50$  кА,  $I_{уд} \leq 128$  кА для возможности установки облегченной аппаратуры и использования серийных КРУ 10-6 кВ, изготавливаемых заводами.

9.2.13 Для газотурбинных установок мощностью до 25 МВт рекомендуется применять схемы укрупненных блоков. Количество генераторов, присоединенных к одному повышающему трансформатору, выбирается в зависимости от мощности генераторов. Применяются схемы с присоединением генераторов к обмотке низкого напряжения трансформатора с установкой выключателя в цепи каждого генератора или схема с присоединением генераторов к расщепленной обмотке низкого напряжения 10,5-6,3 кВ повышающего трансформатора, а также с установкой выключателя в цепи каждого генератора. Количество присоединяемых генераторов в укрупненном блоке во всех случаях определяется расчетом токов короткого замыкания, при этом надо исходить из того, чтобы величина тока короткого замыкания на генераторном напряжении не превосходила рекомендованной в п. 9.2.12.

9.2.14 Применение укрупненных блоков с большими токами короткого замыкания, чем указаны в п. 9.2.12, не рекомендуется и их применение должно быть обосновано технико-экономическим расчетом.

9.2.15 Допускается, в зависимости от местных условий при соответствующем обосновании (отсутствие РУ высокого напряжения или территории для сооружения или расширения РУ, коридоров для трасс ЛЭП высокого напряжения и пр.) для ГТУ до 25 МВт объединение нескольких укрупненных блоков на стороне высокого напряжения трансформаторов.

При проектировании в составе ПГУ нескольких ГТУ, допускается объединение трансформаторов и укрупненных блоков на стороне высокого напряжения трансформаторов через разъединители и присоединение к одному выключателю или развилке из двух выключателей, а также ЛЭП высокого напряжения.



9.2.16 Для ГТУ с установками до 25 МВт рекомендуется отдавать предпочтение схемам, в которых предусматривается возможность удержания нагрузки агрегата при отключении от сети или сбросе нагрузки со стороны подстанции, путем выполнения ответвлений к ГРУ 10-6 кВ на генераторном напряжении (местная нагрузка, составляющая не менее 20-40% от суммарной мощности генераторов).

9.2.17 При выборе и заказе синхронных и асинхронизированных турбогенераторов предпочтение отдается генераторам с жидкостным или воздушным охлаждением. Тип турбогенератора определяется генеральным проектировщиком по согласованию с Заказчиком.

9.2.18 Номинальная мощность турбогенератора должна быть близкой к величине номинальной мощности газовой турбины, а длительно допустимая мощность турбогенератора должна быть не менее максимальной допустимой мощности газовой турбины при пониженных значениях температуры окружающего воздуха.

9.2.19 Генераторы для паровых турбин должны иметь расположение линейных выводов в нижней части корпуса. Генераторы для газовых турбин должны иметь расположение линейных выводов в верхней части корпуса или сбоку.

9.2.20 Генераторы для газовых турбин должны быть приспособлены для автоматизации процессов пуска и останова турбоагрегатов.

9.2.21 Генераторы ПГУ и ГТУ должны иметь тиристорную систему возбуждения с полным внутренним резервированием, либо бесщеточную систему возбуждения. При этом резервная система возбуждения для электростанций с ПГУ и ГТУ не предусматривается.

9.2.22 Турбогенераторы для газотурбинных установок должны быть рассчитаны для работы в качестве пусковых электродвигателей для разворота роторов турбоагрегата до скорости вращения, обеспечивающей работу газовой турбины от собственного факела.

9.2.23 Пуск газотурбинной установки может быть обеспечен своим тиристор-ным пусковым устройством (ТПУ).

Допускается устанавливать одно ТПУ на два газотурбинных агрегата.

Рекомендуется схема с одномостовым управляемым выпрямителем.

С целью ограничения аварийных токов на выходе ТПУ и понижения напряжения генератора при его пуске до уровня номинального выходного напряжения ТПУ, должно быть снижено возбуждение генератора, что требуется согласовать с заводом-изготовителем генератора.

9.2.24 ТПУ подключается только к генераторам газовых турбин, не имеющих пусковых устройств другого типа.

9.2.25 Трансформатор, питающий ТПУ, присоединяется к шинам РУСН 6 кВ. В случае отсутствия РУСН 6 кВ трансформатор присоединяется к отпайке от генераторного токопровода между трансформатором и выключателем. Рекомендуется подключение ТПУ осуществлять к отдельной специальной обмотке блочного трансформатора.

9.2.26 Выход ТПУ должен подсоединяться к токопроводу генератора между генератором и генераторным выключателем.

В цепи между токопроводом генератора и ТПУ должны быть установлены выключатель и разъединитель с моторным приводом или специальный коммутационный аппарат.

Выключатель должен быть устойчив к токам короткого замыкания от пускаемого генератора при пониженном возбуждении.

Разъединитель должен быть выбран на номинальное напряжение (или большее) генератора и должен быть устойчив к токам короткого замыкания в генераторной цепи.

Токопроводы от разъединителя до токопровода генератора должны быть устойчивы к токам короткого замыкания в цепи генератора.

9.2.27 Выпрямительный трансформатор системы тиристорного возбуждения генератора для обеспечения работы ТПУ должен быть подключен между генераторным выключателем и повышающим трансформатором. Рекомендуется подключение системы возбуждения генератора к отдельной специальной обмотке блочного трансформатора.

### **9.3 Схемы электрических соединений собственных нужд**

9.3.1 Электродвигатели собственных нужд должны применяться, как правило, асинхронные с короткозамкнутым ротором.

Допускается, в отдельных случаях, применение асинхронных электродвигателей с фазным ротором, синхронных электродвигателей. Для ряда механизмов, когда это необходимо, по условиям технологического процесса, для целей энерго- и ресурсосбережения рекомендуется применение регулируемого электропривода.

Степень защиты оболочек электродвигателей и коробок выводов должна определяться применительно к конкретным условиям размещения.

Для питания электродвигателей собственных нужд мощностью 200 кВт и выше должно применяться напряжение 6-10 кВ. Допускается, в отдельных случаях, применение электродвигателей мощностью 200 кВт на напряжение 0,4 кВ.

Для остальных электродвигателей переменного тока собственных нужд должно применяться напряжение 0,4 кВ. Сеть 0,4 кВ должна выполняться с заземленной нейтралью. Выбор режима работы нейтрали в сети 6-10 кВ определяется проектом.

В сетях освещения следует широко применять газоразрядные источники света. При использовании ртутных ламп высокого давления в основных цехах следует предусматривать мероприятия по их сохранению в работе в случаях кратковременных снижений напряжения питающей сети. В магистралях сетей освещения главного корпуса устанавливаются стабилизаторы напряжения. Во вспомогательных цехах стабилизаторы напряжения устанавливаются при специальном обосновании.

9.3.2 На электростанциях, на которых все генераторы включены на шины РУ генераторного напряжения, питание собственных нужд должно осуществляться от этих шин.

На электростанциях, на которых все генераторы включены по схеме блоков генератор-трансформатор, питание собственных нужд должно осуществляться путем устройства ответвлений от блока с установкой в цепях этих ответвлений токоограничивающих реакторов или трансформаторов.

При наличии выключателя между генератором и трансформатором ответвление должно присоединяться между этим выключателем и трансформатором.

На электростанциях со смешанной схемой включения генераторов питание собственных нужд должно осуществляться частично от шин РУ генераторного напряжения и частично от блоков генератор-трансформатор.

При отсутствии выключателя в цепи генератора рекомендуется, по возможности, избегать ответвлений от блоков генератор-трансформатор, генераторы которых приводятся от турбин типа Р (работающих с противодавлением).

9.3.3 При питании собственных нужд от сборных шин РУ генераторного напряжения и ответвлениями от блоков генератор-трансформатор резервные источники питания собственных нужд (реактированные линии, трансформаторы) присоединяются к шинам РУ генераторного напряжения и к шинам РУ повышенного напряжения.

При этом вместо одного резервного трансформатора с расщепленной обмоткой допускается использование двух двухобмоточных трансформаторов, каждый из которых присоединяется к отдельной магистрали резервного питания.

При питании собственных нужд только ответвлениями от блоков генератор-трансформатор резервный трансформатор собственных нужд присоединяется к сборным шинам РУ повышенного напряжения с низшим

номинальным напряжением из повышенных при условии, что шины могут получать электроэнергию от внешней сети при остановке генераторов станций, в том числе и через трехобмоточные трансформаторы (автотрансформаторы), соединенными в блок с генераторами.

Резервный трансформатор может присоединяться к посторонним источникам питания, расположенным вблизи электростанции (сетевая подстанция или другая электростанция), если обеспечивается надежное питание от указанного источника.

Резервные трансформаторы собственных нужд электростанций присоединяются к различным источникам питания (РУ разных напряжений, разные секции и разные системы сборных шин РУ одного напряжения, третичные обмотки автотрансформаторов). Должно обеспечиваться сохранение в работе одного из резервных трансформаторов собственных нужд при повреждении любого из элементов главной схемы электрических соединений.

Рекомендуется присоединение резервных трансформаторов собственных нужд к обмотке среднего напряжения автотрансформаторов с установкой на ответвлении к резервному трансформатору собственных нужд отдельного выключателя.

Использование обмотки третичного напряжения автотрансформаторов связи в качестве источников резервного питания собственных нужд допускается, если обеспечивается:

- допустимые колебания напряжения на шинах РУСН при регулировании напряжения автотрансформатора;
- допустимое по условию самозапуска электродвигателей суммарное реактивное сопротивление автотрансформатора и резервного трансформатора собственных нужд (реактированной линии).

Допускается резервирование собственных нужд при помощи ответвления от блока генератор-трансформатор с установкой выключателя между генератором и трансформатором.

9.3.4 Распределительные устройства собственных нужд выполняются с одной системой сборных шин.

Сборные шины 6 и 10 кВ разделяются на секции, количество которых выбирается на станциях с поперечными связями по пару и на станциях с блочной тепловой схемой одна секция на котел или блок при отсутствии парных ответственных механизмов собственных нужд; две секции на котел или блок при наличии парных ответственных механизмов собственных нужд независимо от мощности котло- и турбоагрегатов или одна секция при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Каждая из секций или секции попарно присоединяются к отдельному источнику рабочего питания; на каждой секции предусматривается ввод автоматически включаемого резервного источника питания; необходимость выделения дополнительных секций должна быть обоснована.

9.3.5 На электростанциях с поперечными связями по пару должно устанавливаться не менее одного резервного трансформатора. При этом должно устанавливаться по одному резервному трансформатору или реактированной линии питания собственных нужд 6-10 кВ на каждые четыре рабочих трансформатора или линии.

Число источников рабочего питания собственных нужд, присоединяемых к одной секции шин РУ генераторного напряжения, не должно быть более двух и они должны быть присоединены к шинам РУ генераторного напряжения таким образом, чтобы источник рабочего питания и резервирующий его источник были присоединены к разным секциям РУ генераторного напряжения. Источник резервного питания может также присоединяться к ответвлению от трансформатора связи. При РУ генераторного напряжения с двумя системами шин резервный источник питания может

присоединяться ко второй системе шин вместе с трансформатором связи.

9.3.6 Число резервных трансформаторов собственных нужд 6 кВ на станциях без поперечных связей по пару принимается:

9.3.6.1 При отсутствии генераторных выключателей в цепи всех генераторов:

- один резервный трансформатор собственных нужд - при числе блоков один или два;

- два резервных трансформатора собственных нужд - при числе блоков от трех до шести включительно;

- два резервных трансформатора собственных нужд, присоединенных к источнику питания, и один резервный трансформатор генераторного напряжения, не присоединенный к источнику питания, но установленный на фундаменте и готовый к перекалке - при числе блоков семь и более.

9.3.6.2 При наличии генераторных выключателей в цепи каждого блока ТЭС:

- один резервный трансформатор, присоединенный к источнику питания (при числе блоков один или два);

- один резервный трансформатор, присоединенный к источнику питания и один резервный трансформатор генераторного напряжения, не присоединенный к источнику питания, но установленный на фундаменте и готовый к перекалке (при числе блоков три и более).

9.3.6.3 При установке на электростанции части блоков без генераторных выключателей и другой части с генераторными выключателями, число резервных трансформаторов определяется для общего числа блоков согласно изложенному в п. 9.3.6.1.

9.3.7 Магистрали резервного питания с.н. 6 (10) кВ секционируются выключателями при двух резервных трансформаторах (присоединенных к источнику питания) и при наличии поперечных связей в тепловой части - на 2 части. На блочных электростанциях, при двух резервных трансформаторах магистрали резервного питания с.н. 6(10) кВ секционируются через 2-3 блока, а при одном резервном трансформаторе с.н. через 3-4 блока.

На стороне низшего напряжения резервных трансформаторов собственных нужд станций всех типов устанавливаются выключатели; при использовании в качестве источника резервного питания реактированной линии аналогичные выключатели не устанавливаются.

9.3.8 При выборе мощности рабочих источников питания собственных нужд (трансформаторов или реактированных линий) электростанций всех типов необходимо исходить из условий обеспечения питания всей присоединенной к соответствующей секции (или двум секциям) нагрузки собственных нужд без перегрузки линий или отдельных обмоток трансформаторов собственных нужд.

9.3.9 Подключение общестанционных потребителей (электродвигателей 6-10 кВ, трансформаторов 6-10/0,4) рекомендуется выполнять одним из следующих способов:

- к рабочим секциям РУСН 6-10 кВ собственных нужд 6-10 кВ. При этом электродвигатели 6-10 кВ и трансформаторы 6-10/0,4 кВ должны распределяться по секциям по возможности равномерно;

- к отдельным (не менее двух) общестанционным секциям 6-10 кВ;

- к отдельным общестанционным секциям 6-10 кВ с одновременным присоединением части общестанционной нагрузки к рабочим секциям.

9.3.10 Питание общестанционных секций следует выполнять одним из следующих способов:

9.3.10.1 От отдельных общестанционных трансформаторов или от одного трансформатора с расщепленными обмотками, подключенных к РУ повышенного напряжения или к ответвлению от блока.

9.3.10.2 От рабочих секций РУСН 6-10 кВ блоков или отпайкой от обмотки 6-10 кВ рабочих трансформаторов блоков.

9.3.10.3 Общестанционный трансформатор может быть совмещен с резервным трансформатором.

9.3.10.4 Секции собственных нужд блоков с питательными электронасосами должны быть подключены к магистралям резервного питания собственных нужд равномерно.

9.3.10.5 Для резервирования питания общестанционных секций 6 кВ должен предусматриваться отдельный резервный трансформатор. Магистраль резервного питания общестанционных секций должна соединяться через выключатель с магистралью резервного питания рабочих секций 6 кВ. Допускается выполнять питание общестанционных секций от двух трансформаторов по схеме неявного резерва с подключением каждого рабочего трансформатора к секциям 6 кВ через развилку из двух выключателей.

9.3.11 Мощность резервных источников питания собственных нужд электростанций с поперечными связями по паре должна выбираться, исходя из следующего:

- при питании рабочих и резервных источников питания собственных нужд от шин ГРУ и присоединении к секции ГРУ одного источника не менее мощности этого рабочего источника;

- при питании рабочих и резервных источников питания от шин ГРУ и присоединении к одной секции ГРУ двух источников рабочего питания мощность резервного источника должна быть равной полуторакратной мощности наибольшего рабочего источника питания;

- при присоединении рабочих источников питания собственных нужд ответвлением от блоков генератор-трансформатор без выключателя генераторного напряжения выбор мощности резервного источника питания производится исходя из режима, когда резервный источник заменяет наиболее крупный рабочий источник питания собственных нужд и одновременно обеспечивает пуск или аварийный останов другого котла или турбины.

При наличии выключателя генераторного напряжения резервные трансформаторы собственных нужд выбираются, как правило, такой же мощности, как и рабочий трансформатор собственных нужд.

9.3.12 Мощность каждого резервного трансформатора с.н. на электростанциях без поперечных связей по паре, без генераторных выключателей в цепях блоков, должна обеспечить замену рабочего трансформатора одного блока и одновременно пуск или аварийный останов второго блока.

На электростанциях с блоками, имеющими пускорезервные питательные насосы с электроприводами, в качестве расчетных для выбора резервного трансформатора принимаются следующие случаи: замена рабочего трансформатора собственных нужд блока, работающего с нагрузкой 100% (при работе блока на турбопитательном насосе) с одновременным пуском второго блока, замена рабочего трансформатора собственных нужд блока (при работе на питательном электронасосе) с одновременным пуском второго блока или одного котла при дубль-блоке.

При наличии выключателя генераторного напряжения на всех блоках резервные трансформаторы собственных нужд выбираются такой же мощности, как и рабочий трансформатор собственных нужд.

При выборе схемы и оборудования собственных нужд необходимо выполнять расчеты самозапуска.

При расчете самозапуска длительность перерыва питания принимать 2,5 сек.. В случае, если с этим временем самозапуск не обеспечивается, должны быть приняты меры по сокращению длительности перерыва питания собственных нужд до 1,5 с.

9.3.13 Питание поселка при электростанции должно осуществляться от местных распределительных сетей, а при их отсутствии от ГРУ, третичной обмотки трансформатора (автотрансформатора) связи двух РУ повышенного напряжения, отдельного трансформатора, подключенного к шинам РУ повышенного напряжения.

На электростанциях, где генераторы соединены в блоки с трансформатором, допускается резервирование питания поселка от собственных нужд станции.

Подключение посторонних потребителей, в том числе стройдвора, к шинам собственных нужд станции не допускается.

Для обеспечения опережающего ввода на электростанциях пусковых котельных, водогрейных котлов, а также электроснабжения строительства, их электропитание рекомендуется осуществлять от местных сетей, с последующим переводом питания пусковых котельных и водогрейных котлов от электростанции. При этом выбор мощности трансформаторов должен, как правило, производиться из условий их взаимного резервирования (по схеме неявного резерва).

9.3.14 Нагрузка 0,4 кВ питается и резервируется от трансформаторов 6-10/0,4 кВ.

На всех электростанциях питание резервных трансформаторов производится от секций 6-10 кВ, от которых не питаются резервируемые ими рабочие трансформаторы, либо от общестанционных секций 6 кВ.

На электростанциях с блочной электрической схемой резервные трансформаторы 6/0,4 кВ блока должны питаться от секций 6 кВ других блоков.

При наличии на станции распределительных устройств разных повышенных напряжений, резервный трансформатор 6/0,4 кВ, питающийся от шин РУ собственных нужд 6 кВ блока, подключенного к распределительному устройству одного из повышенных напряжений, как правило, должен резервировать рабочие трансформаторы блоков, подключенных к распределительному устройству другого повышенного напряжения. Если это вызывает затруднения, резервный и резервируемые им рабочие трансформаторы 6/0,4 кВ могут быть присоединены к шинам РУ собственных нужд блоков, присоединенных к разным системам шин одного РУ повышенного напряжения.

9.3.15 На блочных станциях до ввода в эксплуатацию блока № 2 питание резервного трансформатора собственных нужд 6/0,4 кВ блока № 1 осуществляется от источника питания, не связанного с блоком № 1 или от магистрали резервного питания собственных нужд 6 кВ.

После ввода блока № 2 в эксплуатацию этот трансформатор, при необходимости, переключается на секцию собственных нужд 6 кВ блока № 2.

На станциях с поперечными связями по пару до установки резервного трансформатора № 2 резервный трансформатор № 1 питается от источника, который не питает рабочие трансформаторы 6-10/0,4 кВ; после установки резервного трансформатора № 2 питание резервного трансформатора № 1 переносится на секцию собственных нужд 6 кВ, от которой не питаются трансформаторы им резервируемые.

9.3.16 На станциях с блочной тепловой схемой число секций 0,4 кВ в главном корпусе должно быть не менее двух для каждого блока.

На станциях с поперечными связями по пару количество секций в главном корпусе принимается:

- как правило, одна секция на котел или турбину при отсутствии парных ответственных механизмов собственных нужд. Необходимость двух секций на котел или турбину в этом случае должна быть обоснована;
- две секции на котел или турбину при наличии парных ответственных механизмов собственных нужд независимо от мощности котло-, турбоагрегатов или одна секция при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Рекомендуется сооружение в главном корпусе отдельных общестанционных

секций РУ собственных нужд 0,4 кВ, число которых должно быть, как правило, не менее двух.

Шины щитов 0,4 кВ цехов, бесперебойная работа которых обязательна для выдачи вырабатываемой энергии (мазутонасосных, где основное топливо - мазут и т.п.), а также вспомогательных цехов, перерыв питания которых не ведет за собой немедленного или очень быстрого снижения выработки энергии электростанций, но длительный простой которых вследствие отсутствия напряжения может привести к развитию аварии (химводоочистка, топливоподача, растопочная мазутонасосная и т.п.) должны разделяться, как правило, не менее чем на две секции.

Шины щитов 0,4 кВ вспомогательных цехов, не связанных с основным технологическим процессом, могут не разделяться на отдельные секции за исключением щитов 0,4 кВ насосных нефтесодержащих стоков, хозяйственно-бытовых и ливневых стоков, которые должны разделяться, как правило, не менее чем на две секции. При установке в насосных станциях только вторичных сборок, их число должно быть, как правило, не менее двух.

Все электродвигатели одноименных взаимно резервируемых механизмов одного агрегата или устройства должны присоединяться, как правило, к разным секциям, питающимся от разных трансформаторов 6/0,4 кВ (непосредственно к сборным шинам РУ 0,4 кВ или к разным вторичным сборкам, присоединенным в свою очередь к разным секциям).

9.3.17 В цепях электродвигателей 0,4 кВ независимо от их мощности, а также в цепях линии питания сборок в качестве защитных аппаратов устанавливаются автоматические выключатели, согласованные по селективности.

Защита сети 0,4 кВ от токов короткого замыкания осуществляется мгновенным расцепителем. Расцепители с зависимыми характеристиками выполняют функцию резервирования. Мгновенные расцепители защитных аппаратов должны срабатывать при дуговом коротком замыкании в конце защищаемого участка сети.

В случае применения выключателей без дистанционных приводов в качестве коммутационных аппаратов используются контакторы или магнитные пускатели.

Схемы управления контакторов и магнитных пускателей, устанавливаемых в цепях ответственных электродвигателей, должны обеспечивать их повторное включение при восстановлении напряжения после его кратковременного снижения.

Установка предохранителей в качестве защитных аппаратов допускается в цепях сварки и неответственных электродвигателей, не связанных с основным технологическим процессом (мастерские, лаборатории и т.п.).

9.3.18 Каждая из секций РУ 0,4 кВ за исключением РУ вспомогательных цехов, не влияющих непосредственно на выработку электроэнергии (мастерские и т.п.) должны иметь два источника питания - рабочий и резервный.

Переключение питания с рабочего на резервный источник для секций, не допускающих длительного перерыва питания, осуществляется с помощью устройства АВР.

В качестве резервного источника питания для секций РУ 0,4 кВ, расположенных в главном корпусе, применяются отдельные трансформаторы.

Для секций РУ 0,4 кВ вспомогательных цехов может применяться резервирование от отдельных резервных трансформаторов (явный резерв) или взаимное резервирование двух рабочих трансформаторов (скрытый резерв).

9.3.19 Мощность резервного трансформатора 6-10/0,4 кВ по схеме с явным резервом принимается равной мощности наиболее крупного рабочего трансформатора, им резервируемого; по схеме со скрытым резервом мощность каждого из взаиморе-зервируемых трансформаторов должна быть выбрана по полной нагрузке двух секций.

В последнем случае взаимное резервирование может быть осуществлено по

схеме двух развилки.

Максимальная мощность трансформаторов 6-10/0,4 кВ принимается в зависимости от аппаратуры, устанавливаемой в шкафах РУ 0,4 кВ, и вторичных сборок.

9.3.20 Источники резервного питания шин РУ 0,4 кВ должны обеспечивать одновременный запуск ответственных электродвигателей этого напряжения, от которых зависит сохранение оборудования в работоспособном состоянии, а также средств пожаротушения и освещения в случае потери собственных нужд 0,4 кВ на блоках, резервируемых этим источником.

Для этого часть секций РУ 0,4 кВ каждого блока, котла или турбоагрегата секционируются выключателями на две полусекции, к одной из которых и присоединяются указанные выше ответственные электродвигатели. При длительной потере напряжения на этих секциях секционные выключатели отключаются защитой минимального напряжения и полусекции с ответственными электродвигателями автоматически подключаются к источнику резервного питания.

На случай полной и длительной потери переменного тока на электростанции (более 30 мин.) должно быть обеспечено надежное питание ответственных электродвигателей 0,4 кВ, от которых зависит сохранение оборудования блоков, котлов или турбоагрегатов в работоспособном состоянии, в том числе: электродвигателей вало-поворотных устройств и регенеративных воздухоподогревателей, маслонасосов турбоагрегатов, подзарядных агрегатов аккумуляторных батарей, аппаратуры контрольно-измерительных приборов и автоматики, включая автоматику запуска системы и запорной арматуры пожаротушения, аварийного освещения.

Питание осуществляется либо от неблочной части электростанции (при наличии таковой), либо от ближайших тепловых электростанций и гидростанций. При отсутствии указанных резервных источников питания, принимается резервный дизель-генератор, включаемый на ответственные полусекции автоматически.

Для потребителей, не допускающих перерыва питания, должны применяться агрегаты бесперебойного питания (АБП).

9.3.21 Число резервных трансформаторов 6-10/0,4 кВ принимается:

- для станций с блочной тепловой схемой 1 резервный трансформатор в главном корпусе для каждого блока;
- для станций с поперечными связями по пару, но с блочной электрической схемой - два резервных трансформатора 6/0,4 кВ в главном корпусе при количестве рабочих трансформаторов от 2 до 6;
- для станций с поперечными связями по пару 1 резервный трансформатор 6/0,4 кВ в главном корпусе при числе рабочих трансформаторов 4 и менее; 2 резервных трансформатора при числе рабочих трансформаторов от 5 до 8 включительно; при числе трансформаторов сверх 8 по 1 резервному трансформатору на каждые 4 рабочих трансформатора;
- для вспомогательных цехов станций всех типов - 1 резервный трансформатор при числе рабочих трансформаторов 6 и менее; 2 резервных трансформатора при числе трансформаторов от 7 до 12 включительно; при числе рабочих трансформаторов сверх 12 по 1 резервному трансформатору на каждые 6 рабочих трансформаторов.

В цепи резервного трансформатора перед сборкой (шинопроводом) резервного питания устанавливается рубильник для ремонтных целей.

Переключки между сборками 0,4 кВ разных резервных трансформаторов не выполняются.

## 9.4 Схемы электрических соединений собственных нужд ТЭС с ПГУ

9.4.1 В установках ГТУ и ПГУ мощностью до 25 МВт для питания собственных нужд в основном применяется напряжение 0,4 кВ.



Напряжение 6-10 кВ применяется для питания электродвигателей дожимных компрессоров газа (при необходимости их установки) и электродвигателей питательных и сетевых насосов и другой общестанционной нагрузки, например, трансформаторов 6/0,4 кВ.

9.4.2 Если в состав энергетического блока входит несколько газотурбинных установок, объединенных на стороне повышенного напряжения, то для всех газотурбинных установок энергетического блока допускается применять общие секции питания собственных нужд.

На ПГУ утилизационного типа, имеющих в своем составе два или более генераторов газовых турбин, каждый из которых соединен с повышающим трансформатором, рабочее питание собственных нужд ПГУ рекомендуется осуществлять от трансформаторов, подключенных к отпайкам от генераторных токопроводов двух газовых турбин. На ПГУ сбросного типа - от трансформатора, подключенного к отпайке от генераторного токопровода генератора паровой турбины.

На установках ГТУ и ПГУ мощностью агрегатов до 25 МВт, при включении по блочной схеме, питание РУ общестанционной секции собственных нужд 6 кВ и рабочего трансформатора собственных нужд 6/0,4 кВ осуществляется ответвлениями от генераторов, в цепи ответвления допускается установка реактора.

Для питания общестанционных секций собственных нужд 6 кВ предусматривается не менее двух ответвлений от генераторов.

В схемах с присоединением генератора к шинам ГРУ 10-6 кВ питание общестанционных секций собственных нужд 6 кВ и трансформаторов 6/0,4 кВ осуществляется от этих шин.

Питания общестанционных секций 6 кВ собственных нужд парогазовых и газотурбинных установок может выполняться по схеме взаимного резервирования.

Резервное питание общестанционной секции собственных нужд 6 кВ выполняется:

- от шин повышенного напряжения через резервный трансформатор;
- от секции ГРУ 10-6 кВ генераторного напряжения, имеющей (кроме связи с установкой ГТУ) связь с системой;
- от постороннего источника, обеспечивающего надежное резервное питание.

9.4.3 Взаимное резервирование блочных секций 6 кВ внутри многоагрегатного энергоблока, подключенного к РУ повышенного напряжения через один общий по-высительный трансформатор, не допускается.

9.4.4 Распределительные устройства собственных нужд выполняются с одной системой сборных шин.

Количество блочных секций РУСН 6 кВ и 0,4 кВ выбирается из расчета не менее двух секций на блок при наличии парных ответственных механизмов собственных нужд, независимо от мощности агрегатов или одна секция при соответствующем технико-экономическом обосновании; при отсутствии парных механизмов выбирается одна секция на ГТУ.

Каждая из секций или секции попарно присоединяются к отдельному источнику рабочего питания; на каждой секции предусматривается ввод автоматически включаемого резервного источника питания.

9.4.5 Число источников рабочего питания собственных нужд, присоединяемых к одной секции шин РУ генераторного напряжения, не должно быть более двух, и они должны быть присоединены к шинам РУ генераторного напряжения таким образом, чтобы источник рабочего питания и резервирующий его источник были присоединены к разным секциям РУ генераторного напряжения.

При двух секциях ГРУ и наличии особых требований допускается РУ генераторного напряжения секционировать через два выключателя.

9.4.6 При РУ генераторного напряжения с двумя системами шин резервный

источник питания может также присоединяться ко второй системе шин вместе с трансформатором связи.

Источник резервного питания может также присоединяться к ответвлению от трансформатора связи через отдельный выключатель.

9.4.7 При наличии генераторных выключателей в цепи каждого агрегата ПГУ число резервных трансформаторов собственных нужд 6 кВ принимается:

- один резервный трансформатор, присоединенный к источнику питания (при числе блоков один или два);
- один резервный трансформатор, присоединенный к источнику питания и один резервный трансформатор генераторного напряжения, не присоединенный к источнику питания, но установленный на фундаменте и готовый к перекалке (при числе блоков три и более).

Число резервных трансформаторов для ГТУ - один трансформатор на четыре установки.

9.4.8 При выборе мощности рабочих источников питания собственных нужд (трансформаторов или реактированной линии) необходимо исходить из условий обеспечения питания всей присоединенной к соответствующей секции (или двум секциям) нагрузки собственных нужд без перегрузки линий, отдельных обмоток трансформаторов собственных нужд во всех эксплуатационных режимах.

9.4.9 Подключение общестанционных потребителей (электродвигателей 6 кВ, трансформаторов 6/0,4 кВ) рекомендуется выполнять одним из следующих способов:

- к отдельным (не менее двух) общестанционным секциям 6 кВ (предпочтительный вариант);
- к рабочим секциям собственных нужд 6 кВ. При этом электродвигатели 6 кВ, трансформаторы 6/0,4 кВ должны распределяться по секциям, по возможности, равномерно;
- к отдельным общестанционным секциям 6 кВ с одновременным присоединением части общестанционной нагрузки к рабочим секциям 6 кВ.

9.4.10 Питание общестанционных секций 6 кВ рекомендуется выполнять одним из следующих способов:

- от отдельных общестанционных трансформаторов, подключаемых к разным секциям или системам шин одного РУ или к РУ разных повышенных напряжений;
- от одного трансформатора с расщепленными обмотками, подключенного к РУ повышенного напряжения;
- от отдельных обмоток рабочих трансформаторов собственных нужд блоков ПГУ или ГТУ;
- от реактированных линий ГРУ 10-6 кВ;
- отпайкой на генераторном напряжении.

9.4.11 Мощность потребляемая ТПУ, питающегося от РУСН 6 кВ, не должна учитываться при выборе мощности рабочего трансформатора собственных нужд как нагрузка этих РУСН.

9.4.12 Для ГТУ и ПГУ, не имеющих блочных РУСН 6 кВ, питание нагрузки собственных нужд 0,4 кВ осуществляется от трансформаторов 10-6/0,4 кВ, подключенных к РУ генераторного напряжения или отпайкой от токопровода генератора.

Резервное питание рабочих РУСН 0,4 кВ предусматривается от трансформаторов 10-6/0,4 кВ, подключаемых к РУ генераторного напряжения другого блока или к общестанционным секциям 6 кВ.

Для установок ГТУ и ПГУ малой мощности (2,5-25 МВт) питание общестанционной нагрузки предусматривается не менее чем от двух общестанционных секций 0,4 кВ, питающихся от трансформаторов 10-6/0,4 кВ. Допускается установка общего резервного трансформатора для резервирования

блочной и общестанционной нагрузки.

9.4.13 На станциях с ПГУ и ГТУ количество секций 0,4 кВ в главном корпусе, как правило, принимается:

- не менее двух для каждой парогазовой установки;
- по одной секции на каждую газотурбинную установку при отсутствии парных ответственных механизмов;
- две секции на котел или турбину (паровую) при наличии парных ответственных механизмов собственных нужд независимо от мощности котло-, турбоагрегатов или одна секция при соответствующем технико-экономическом обосновании.

На станциях с поперечными связями по пару количество секций в главном корпусе принимается:

- как правило, одна секция на котел или турбину при отсутствии парных ответственных механизмов собственных нужд. Необходимость двух секций на котел или турбину в этом случае должна быть обоснована;
- две секции на котел или турбину при наличии парных ответственных механизмов собственных нужд независимо от мощности котло-, турбоагрегатов или одна секция при соответствующем технико-экономическом обосновании.

9.4.14 Для электростанций с ПГУ или электростанций с ГТУ единичной мощностью агрегата более 25 МВт рекомендуется устанавливать дизель-генераторные установки на напряжение 0,4 кВ для электроснабжения приводов механизмов, обеспечивающих безаварийный останов газовой и паровой турбин. Число и мощность дизель-генераторов определяется при конкретном проектировании.

9.4.15 Для газотурбинных установок, предназначенных для пуска электростанции с нуля после ее полного останова при системных авариях или чрезвычайных ситуациях предусматриваются дизель-генераторы 0,4 кВ или 6 кВ мощностью, достаточной для пуска электростанции.

При этом следует отдавать предпочтение полностью автономным газотурбинным установкам мощностью до 25 МВт, не требующим тиристорного пускового устройства.

9.4.16 Число трансформаторов, резервирующих питание секций РУСН 0,4 кВ в главном корпусе, принимается:

- для ГТУ - один резервный трансформатор на 4 установки;
- для ПГУ сбросного типа и утилизационного типа - один резервный трансформатор на установку.

## **9.5 Управление, электрическая автоматика и оперативный ток**

9.5.1 Управление основными элементами схемы электрических соединений должно производиться централизованно из следующих пунктов, оборудованных АСУ ТП:

- на электростанциях с поперечными связями по пару - с главного щита управления и групповых технологических щитов;
- на электростанциях с поперечными связями по пару и с блочной электрической частью - с центрального щита и блочных щитов управления;
- на электростанциях с блочными тепловыми схемами - с центрального щита управления и блочных щитов управления.

9.5.2 С главных щитов управления (ГЩУ) электростанций с поперечными связями по пару производится управление выключателями и АГП генераторов и блоков генератор-трансформатор, выключателями трансформаторов связи с системой, шино-соединительными, секционными и обходными выключателями всех напряжений главной схемы электрических соединений, выключателями линий, отходящих от шин распределительных устройств повышенных напряжений, трансформаторов и линий питания шин основного напряжения собственных нужд и устройствами РПН

трансформаторов, а также выключателями 6(10) и 0,4 кВ трансформаторов с.н. 6(10)/0,4 кВ главного корпуса и общестанционных сооружений вне главного корпуса, если они не управляются с соответствующих местных технологических щитов.

С ГЩУ также осуществляется дистанционное управление наружным освещением ОРУ, светоограждением дымовых труб, наружным освещением территории станции.

Кроме того, на ГЩУ предусматривается сигнализация вызова персонала при неисправностях на общестанционных местных щитах управления, не имеющих постоянного дежурства и вызова персонала в различные электрические помещения, распределительные устройства и пр.

С ГЩУ производится контроль работы и дистанционное управление стационарными установками пожаротушения.

9.5.3 С центральных щитов управления (ЦЩУ) электростанций с блочной тепловой схемой производится управление всеми выключателями распределительных устройств повышенных напряжений, расположенных на территории электростанции.

С ЦЩУ также предусматривается управление элементами общестанционного назначения, в том числе выключателями резервных трансформаторов собственных нужд 6 кВ, включая магистральные и секционные выключатели резервного питания и общестанционных секций, выключателями 6(10) и 0,4 кВ общестанционных трансформаторов 6(10)/0,4 кВ главного корпуса и общестанционных сооружений вне главного корпуса, а также линий питания РУ 6-10 кВ, если они не управляются с соответствующих местных щитов.

С ЦЩУ также осуществляется дистанционное управление наружным освещением ОРУ, светоограждением дымовых труб, наружным освещением территории станции.

На ЦЩУ рекомендуется предусматривать сигнализацию положения разъединителей в цепи выключателей, управляемых с ЦЩУ.

Для информации о работе генераторов и блоков, управляемых с блочного щита, на ЦЩУ предусматриваются:

- сигнализация положения генераторных выключателей;
- измерение активной и реактивной мощностей генераторов;
- одно общее табло на каждый блок "Неисправность на блоке". Кроме того, на

ЦЩУ предусматривается сигнализация вызова персонала при неисправностях на общестанционных местных технологических щитах, не имеющих постоянного дежурства, и вызова персонала в различные электрические помещения, распределительные устройства и пр..

С ЦЩУ производится контроль работы и дистанционное управление общестанционными установками пожаротушения.

9.5.4 На электростанциях, оборудованных общестанционными АСУ ТП, на ЦЩУ предусматриваются соответствующие технические и информационные средства.

9.5.5 С блочных щитов управления (БЩУ) производится управление выключателями и АГП генераторов блока, выключателями вводов рабочих трансформаторов питания шин основного напряжения собственных нужд и вводов резервного питания основного напряжения собственных нужд, выключателями 6(10) и 0,4 кВ рабочих и резервных трансформаторов 6(10)/0,4 кВ данного энергоблока (включая трансформаторы для питания электрофильтров), а также электродвигателей собственных нужд и дизель-генераторами.

При блоках, в тех случаях, когда отсутствует выключатель между генератором и трансформатором, на блочный щит выносятся управление выключателем или выключателями общими с другими присоединениями стороны высокого напряжения.

Эти выключатели управляются как с блочного, так и с центрального щитов. Выбор места управления производится на ЦЩУ.

Кроме этого, с БЩУ производится управление системой возбуждения соответствующих генераторов.

На БЩУ предусматривается сигнализация вызова персонала при неисправностях на местных щитах управления, в электротехнических устройствах и пр., относящихся к данному блоку.

С БЩУ производится контроль работы и дистанционное управление стационарными установками пожаротушения соответствующего блока.

9.5.6 Дистанционное управление разъединителями с пунктов централизованного управления элементами главной схемы электрических соединений, как правило, не предусматривается.

Управление разъединителями напряжением 220 кВ и выше производится из специальных шкафов управления, размещаемых в соответствующих РУ.

При схемах с подключением цепей через два выключателя (например, «полупорная»), для обеспечения возможности быстрого восстановления схемы, после отключения выключателем данного присоединения, линейные разъединители всех присоединений должны иметь дистанционное отключение с ЦЩУ.

9.5.7. На ГТУ и ПГУ, имеющих в своем составе ТПУ, должно предусматриваться дистанционное и автоматическое управление разъединителем, устанавливаемым в цепи ТПУ между выключателем и токопроводом генератора.

9.5.8 На тепловых электростанциях с твердым органическим топливом, оборудованных топливоподачей, должен предусматриваться центральный щит управления топливоподачи (ЦЩУ ТП). Размещение ЦЩУ ТП рекомендуется вынесенным, расположенным в районе дробильного корпуса в месте минимального воздействия вибрации и пыли. Допускается блокирование ЦЩУ ТП со служебно-техническим зданием или РУСН топливоподачи. На электростанциях с энергоблоками мощностью 500 МВт и более для каждого ввода топливоподачи рекомендуется отдельный ЦЩУ ТП.

С ЦЩУ ТП производится управление:

- выключателями вводов рабочих и резервных трансформаторов питания секций РУСН топливоподачи основного напряжения собственных нужд (если они не управляются с ЦЩУ станции);
- выключателями 6(10) и 0,4 кВ рабочих и резервных трансформаторов собственных нужд топливоподачи;
- электродвигателями механизмов и вспомогательных устройств всего тракта топливоподачи, включая плужковые сбрасыватели бункеров сырого угля бункерной галереи главного корпуса.

Топливоподача должна быть оборудована автоматикой загрузки бункеров сырого угля главного корпуса.

Для информации о работе тракта топливоподачи на ЦЩУ ТП предусматривается:

- мнемоническая схема всего тракта топливоподачи;
- сигнализация уровня топлива в бункерах сырого угля;
- сигнализация о положении шиберов в узлах пересыпки и о положении плужковых сбрасывателей бункеров сырого угля бункерной галереи главного корпуса.

9.5.9 Для элементов главной схемы электрических соединений, питающих элементов собственных нужд и распределительных устройств сигнализация в пунктах централизованного управления выполняется в следующем объеме:

- сигнализация положения объектов управления;
- индивидуальная сигнализация аварийного отключения и автоматического включения;
- предупредительная сигнализация об отклонении от нормального режима работы оборудования и о нарушении исправности цепей;

- сигнализация вызова персонала в помещения различных электротехнических устройств и технологических щитов вспомогательных цехов, действующая при нарушениях нормального режима работы этих устройств и при неисправностях в них;
- центральная звуковая сигнализация, обеспечивающая привлечение внимания персонала при действии предупредительной, аварийной и вызывной сигнализации.

9.5.10 Для элементов главной схемы электрических соединений и собственных нужд тепловой электростанции предусматриваются следующие виды автоматических устройств:

- устройства автоматического повторного включения (АПВ) выключателей в цепи линий всех типов и напряжений, кроме выключателей в цепи блоков генератор-трансформатор-линия;
- устройства АПВ шин повышенного напряжения от линий или трансформаторов (автотрансформаторов) связи;
- устройство бесперебойного питания особо ответственных потребителей;
- устройство автоматики отделения части электростанции от энергосистемы при снижении частоты (на электростанциях определяемых в соответствии с пунктом 9.1.2.7);
- устройства автоматического включения резервного питания (АВР) шин собственных нужд, ответственных силовых сборок и сборок задвижек, а также устройства АВР питания оперативным переменным током. Кроме этого предусматривается АВР парных ответственных механизмов в соответствии с требованиями, вытекающими из условий сохранения в работе основного технологического оборудования;
- устройства для включения генераторов на параллельную работу одного с другим и с сетью системы в соответствии с ПУЭ;
- устройства автоматического регулирования возбуждения (АРВ);
- устройства автоматической частотной разгрузки, действующие при аварийном понижении частоты в системе на отключение заранее избранных линий питания потребителей, с их автоматическим обратным включением после восстановления частоты; для теплофикационных электростанций линии должны выбираться с учетом схем питания потребителей пара;
- автоматическое включение и отключение охлаждающих устройств по температуре и нагрузке для трансформаторов, оборудованных указанными устройствами;
- автоматические устройства для записи электрических параметров в аварийных режимах в местах, определяемых в соответствии с ПУЭ и дополнительные по требованию энергосистемы;
- быстродействующие устройства для регистрации аварийных ситуаций (РАС) в аналоговой и дискретной формах (на электростанциях, оборудованных АСУ ТП).

В случае необходимости, определяемой ПУЭ по согласованию с диспетчерским управлением:

- устройства автоматического регулирования активной мощности в нормальном (с коррекцией по частоте) и аварийном режимах;
- устройства автоматического регулирования частоты, перетоков мощности, распределения нагрузки между энергоблоками или турбоагрегатами и ограничения мощности в аварийных режимах;
- устройства группового управления возбуждением для станций, имеющих блочную тепловую схему;
- в случае необходимости дополнительные устройства противоаварийной системной автоматики.

9.5.11 Объем измерений для элементов главной схемы электрических соединений и схемы собственных нужд определяется ПУЭ и методическими

указаниями.

В цепях электродвигателей независимо от их мощности измерение тока осуществляется только в тех случаях, когда электродвигатели используются для привода механизмов, подверженных перегрузкам по технологическим причинам, или когда по амперметрам ведется основной технологический процесс.

Измерение тока осуществляется в цепях электродвигателей дымососов, всех вентиляторов котельного агрегата, всех типов мельниц, ленточных конвейеров, дробилок, питателей пыли, питателей сырого угля шахтных мельниц, питательных, шламовых, конденсатных, сетевых и циркуляционных насосов, маслонасосов системы смазки, мазутных насосов и валоповоротного устройства.

9.5.12 В помещении релейных панелей РУ предусматриваются устройства для определения места повреждения на линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше. Показывающие приборы этих устройств должны, как правило, устанавливаться на ЦЩУ.

9.5.13 В качестве источника оперативного тока для питания устройств управления, автоматики, сигнализации и релейной защиты элементов главной схемы электрических соединений и основного напряжения собственных нужд станции, а также в качестве аварийного источника для питания электродвигателей особо ответственных механизмов собственных нужд, преобразователей АБП и устройств связи, аварийного освещения на электростанциях предусматривается установка аккумуляторных батарей напряжением 220 В. Аккумуляторные батареи должны быть закрытого или герметизированного типа.

Включение аккумуляторной батареи на шины щита постоянного тока осуществляется через селективный автоматический выключатель.

Питание электродвигателей аварийных маслонасосов смазки турбин, а также маслонасосов водородных уплотнений генераторов осуществляется от шин постоянного тока отдельными линиями, в цепи которых устанавливаются автоматические выключатели.

От аккумуляторной батареи должны питаться также технологические защиты, электроприводы отсечных клапанов газопроводов и трубопроводов жидкого топлива, электрогидравлические преобразователи (ЭГП) системы регулирования, электромагниты стопорных клапанов турбин; импульсные предохранительные клапаны котлов, импульсные клапаны обратных клапанов на отборах турбин.

Для устройств управления, релейной защиты, автоматики и контроля может применяться оперативный постоянный ток других напряжений. В этом случае в качестве источника, как правило, используются преобразователи, питаемые от аккумуляторной батареи напряжением 220 В, а также отдельные аккумуляторные батареи необходимого напряжения. Допускается также установка отдельных аккумуляторных батарей.

Для объектов собственных нужд, удаленных от главного корпуса, может применяться выпрямленный ток 220 В.

Распределительная сеть оперативного постоянного тока должна быть оборудована селективной защитой.

9.5.14 В качестве оперативного тока в системе собственных нужд 0,4 кВ применяется переменный ток на напряжение 220 В (фазное напряжение сети 0,4 кВ). В схемах с центральным питанием оперативного переменного тока выполняется резервирование питания шинок переменного тока от разных источников, обеспечивающее сохранение их питания при практически возможных аварийных режимах (питание шинок от одной секции РУСН 0,4 кВ блока, резервирование от другой секции данного блока и от секции РУСН другого блока).

В схемах с центральным питанием шинок оперативного переменного тока могут применяться агрегаты бесперебойного питания (АБП).

Для блоков 500 МВт и более питание оперативным переменным током АСУ ТП следует выполнять в соответствии с «Положением по организации питания оперативным током АСУ ТП энергоблоков мощностью 500 и 800 МВт ТЭС».

Распределительная сеть переменного оперативного тока должна быть оборудована селективной защитой.

Управление выключателями вводов рабочего и резервного питания секций РУСН 0,4 кВ осуществляется на постоянном оперативном токе 220 В от аккумуляторной батареи. Для вводов питания на секции РУСН 0,4 кВ малоответственных вспомогательных сооружений, находящихся на значительном расстоянии (свыше 1000 м) от главного корпуса электростанции, следует применять питание оперативным выпрямленным током или при соответствующем обосновании оперативным переменным током.

На выпрямленном токе также выполняется:

- блокировка разъединителей;
- технологическая сигнализация на блочных и групповых щита управления.

Допускается управление, сигнализацию и блокировку выполнять на переменном оперативном токе для управления разъединителями, для схем сигнализации на местных щитах управления и т.п.

9.5.15 Емкость аккумуляторной батареи определяется нагрузкой электродвигателей аварийных маслососов, нагрузкой аварийного освещения и преобразовательных агрегатов. Номер батареи, выбранный по условию питания длительной нагрузки, должен проверяться по уровню напряжения на шинах при действии суммарной пусковой и длительной нагрузок. При этом должны учитываться пусковые характеристики одновременно включаемых электродвигателей постоянного тока и суммарные токи приводов выключателей.

Расчетная длительность аварийного режима принимается равной 30 мин для электростанций, связанных с энергосистемой, и 1 ч для изолированных электростанций.

9.5.16 На электростанциях с поперечными связями по пару мощностью до 200 МВт включительно устанавливается одна аккумуляторная батарея, а при мощности более 200 МВт устанавливается не менее двух аккумуляторных батарей одинаковой емкости, которые совместно должны обеспечить питание аварийных маслососов смазки турбин и водородного уплотнения генераторов всех агрегатов станции, всех нагрузок аварийного освещения, релейной защиты, управления и сигнализации.

9.5.17 Для электростанций с блочными схемами при мощности блока 200 МВт и более предусматривается установка отдельной батареи для каждого блока.

Все блочные аккумуляторные батареи связываются между собой общей сетью взаиморезервирования, имеющей пропускную способность, соответствующую полной нагрузке получасового аварийного режима одной батареи. Резервирование не учитывается при выборе емкости каждой батареи.

Для электростанции с блочной тепловой схемой с блоками 200 МВт и более, а для ТЭЦ с блоками любой мощности, допускается установка общестанционной аккумуляторной батареи напряжением 220 В для питания общестанционных нужд электростанций.

Емкость этой батареи должна быть равной емкости наибольшей блочной батареи и обеспечивать резервирование блочных батарей.

Для электростанций с блочной тепловой схемой с блоками менее 165 МВт установка общестанционной аккумуляторной батареи допускается при технико-экономическом обосновании.

9.5.18 Питание оперативным током устройств управления, сигнализации и релейной защиты элементов повышенных напряжений станции, управляемых с ЦЩУ, ГЩУ и БЩУ, а также общестанционных устройств производится, как правило, от



аккумуляторных батарей главного корпуса станции.

При значительном удалении распределительных устройств повышенных напряжений от главного корпуса электростанции допускается установка отдельных аккумуляторных батарей в зоне размещения распределительных устройств для питания оперативным током аппаратуры их присоединений. При установке одной батареи должно предусматриваться резервное питание элементов ОРУ от батарей главного корпуса с помощью специальной сети резервирования. Установка двух батарей должна быть обоснована.

Питание оперативным током элементов РУ повышенных напряжений станции производится от шин оперативного тока, предусматриваемых в помещениях релейных щитов распределительных устройств, где также размещаются защитные аппараты оперативных цепей отдельных присоединений и устройств.

Кольцевое питание указанных оперативных шин обеспечивается от аккумуляторных батарей главного корпуса или от батарей, расположенных на ОРУ.

9.5.19 Для электростанций, оборудованных АСУ ТП как на блочном, так и на общестанционном уровнях, должны предусматриваться агрегаты бесперебойного питания, подключаемые к сети собственных нужд 0,4 кВ и к соответствующим аккумуляторным батареям.

9.5.20 Все стационарные аккумуляторные батареи эксплуатируются в режиме постоянного подзаряда. В связи с этим для каждой из них предусматривается отдельное подзарядное устройство. Для зарядки всех аккумуляторных батарей устанавливается один зарядный агрегат на каждые четыре блока. Зарядно-подзарядные устройства должны быть со стабилизацией напряжения не хуже  $\pm 0,5\%$ . При этом должна предусматриваться специальная сеть заряда. Регулирование напряжения зарядного агрегата осуществляется от щита постоянного тока каждой батареи или с зарядного агрегата.

Все аккумуляторные батареи главного корпуса, рассчитанные по емкости на 30-минутный аварийный разряд и на режим ускоренного заряда без отключения нагрузки должны оборудоваться автоматическим регулированием напряжения на шинах установок постоянного тока в режиме постоянного подзаряда, аварийного разряда и заряда батареи.

9.5.21 Аппаратура релейной защиты, счетчики электроэнергии, телеметрические датчики, а также другая релейная аппаратура, относящаяся к элементам главной схемы электрических соединений, включая все элементы собственных нужд станции всех напряжений (0,4-750 кВ), устанавливается в помещениях соответствующих распределительных устройств или в специально предусмотренных помещениях релейных щитов (при РУ). Указанные помещения должны быть защищены от вибрации, попадания воды, пара и масла, от проникновения и образования пыли.

Релейная защита и счетчики электроэнергии генераторов и блоков генератор-трансформатор, а также аппаратуры системы возбуждения генераторов размещаются в главном корпусе в специальных помещениях. С целью исключения влияния вибрации и воздействия воды и масла эти помещения не должны размещаться в пределах фундаментов турбогенераторов.

Во всех этих помещениях или шкафах круглый год должна поддерживаться положительная температура, для чего в случае необходимости предусматриваются электроподогреватели. На пылеугольных станциях вентиляция должна обеспечивать наддув помещений.

Для возможности испытания релейной защиты в помещениях релейной защиты должны предусматриваться щитки постоянного и переменного тока.

9.5.22 Рабочие чертежи устанавливаемых на тепловых электростанциях устройств релейной защиты сетевых и системных элементов, устройств

противоаварийной системной автоматики, устройств регулирования частоты и мощности, частотной разгрузки, ограничения мощности, устройств телемеханики и др. выполняются на базе принципиальных схем, разработанных проектной организацией - Генеральным проектировщиком энергосистемы, и согласованных с энергосистемой и ОДУ. Для отдаленных объектов ТЭС (насосные техводоснабжения, береговые и др.), которые находятся на расстоянии более 4-5 км, следует применять, как правило, устройства телемеханики (телеуправление, телеизмерение, телесигнализация).

## **9.6 Распределительные устройства и вспомогательные сооружения**

9.6.1 Распределительные устройства 6 и 10 кВ с неактивными отходящими линиями и распределительные устройства собственных нужд 0,4 и 6 кВ выполняются с применением комплектных устройств.

Распределительные устройства топливоподачи, а также преобразовательные устройства располагаются, как правило, в вынесенных из технологических сооружений топливоподачи помещениях.

Допускается их блокировка с сооружениями топливоподачи при условии принятия строительных решений, исключающих вибрацию и попадание в них угольной пыли и воды.

Для распределительных устройств 6 и 10 кВ с реактивными отходящими линиями, а также для распределительных устройств 35-220 кВ рекомендуется применение распределительных устройств и отдельных узлов заводского изготовления по мере разработки их промышленностью.

9.6.2 Размеры помещений центрального и главного щитов управления, а также релейных щитов РУ повышенных напряжений станции принимаются исходя из конечной мощности электростанции.

9.6.3 Месторасположение ОРУ относительно главного корпуса электростанции должно быть технически и экономически обосновано. При прочих равных условиях ОРУ располагается перед фронтом машинного зала. При расположении ОРУ за дымовыми трубами высоковольтные связи между ОРУ и трансформаторами могут осуществляться с использованием опор, устанавливаемых на главном корпусе. При этом кровля должна быть несгораемой.

Допускается высоковольтную связь осуществлять с помощью высоковольтных кабелей.

Использование двухцепных опор для связи ОРУ с двумя резервными трансформаторами собственных нужд с подвеской проводов этих трансформаторов на одной опоре не допускается.

9.6.4 При модульном исполнении установок ПГУ и ГТУ генераторный выключатель, щит управления, щиты возбуждения, релейные щиты, ТПУ, распределительное устройство собственных нужд, аккумуляторную батарею допускается компоновать в отдельных модулях, монтируемых вблизи ГТУ.

При расположении газовой и паровой турбин в разных зданиях генераторные выключатели устанавливаются вблизи каждого генератора.

ГРУ 10-6 кВ с током короткого замыкания до 50 кА и распределительные устройства собственных нужд 0,4 и 6 кВ выполняются с применением комплектных устройств.

Распределительные устройства собственных нужд 6 и 0,4 кВ парогазовых и газотурбинных установок в главном корпусе или на площадке ГТУ должны располагаться в закрытых помещениях и местах, исключающих заливание их водой, проникновение в них пыли, воздействие недопустимой вибрации.

9.6.5 На электростанциях с парогазовыми установками допускается, при необходимости, сооружение двух и более распределительных устройств повышенных напряжений, расположенных с разных сторон от главного корпуса.

9.6.6 Распределительные устройства (35-750 кВ) выполняются открытыми, за

исключением случаев, оговоренных ниже.

Распределительные устройства 35-500 кВ могут выполняться закрытыми (в том числе с элегазовыми КРУ), если:

- относ их на необходимое расстояние невозможен или неэкономичен;
- площадка электростанции стеснена;
- суровые климатические условия;
- во всех случаях, когда усиление изоляции не обеспечивает условия ее работы

в загрязненных условиях (химуносы, солончаки и пр.).

При необходимости выполнения закрытых РУ следует отдавать предпочтение элегазовым КРУ.

При выполнении в закрытом распределительном устройстве схемы с секционированными сборными шинами, за исключением элегазовых КРУ, каждая секция должна быть отделена от соседней перегородкой (из стеновых панелей) с проходными изоляторами (для соединительной ошиновки) во избежание выхода из строя всего распределительного устройства в случае загорания масла трансформаторов тока или напряжения.

ОРУ 330, 500 и 750 кВ могут выполняться как с подвесными разъединителями, так и с разъединителями горизонтально-поворотного, пантографного типа; в одном ОРУ могут быть применены разъединители обоих указанных типов.

На напряжение 110 кВ и выше разъединители рекомендуются с электродвигательными приводами.

9.6.7 Во всех распределительных устройствах 3-750 кВ предусматриваются стационарные заземлители и разъединители с заземляющими ножами заводского изготовления.

Распределительные устройства напряжением 330 кВ и выше должны быть оборудованы средствами биологической защиты от электрического поля в зонах обслуживания и прохода.

9.6.8 Компоновочные и конструктивные решения открытых и закрытых распределительных устройств напряжением 110 кВ и выше выполняются с учетом применения передвижных или/и стационарных средств механизации общепромышленного и специального назначения для выполнения ремонтов и технологического обслуживания оборудования и должны обеспечивать их использование без снятия напряжения с соседних ячеек РУ и с учетом безопасных условий проведения работы.

В закрытых камерах трансформаторов, а также в РУСН 0,4 кВ над трансформаторами должна быть предусмотрена возможность применения инвентарных грузоподъемных устройств для механизации ремонта.

9.6.9 В распределительных устройствах 6-750 кВ не рекомендуется установка масляных или воздушных выключателей.

9.6.10 Здания ЗРУ 110-330 кВ выполняются с застекленными верхними ярусами ограждающих панелей, общей площадью одна треть поверхности одной продольной стены, которые предназначаются для разгрузки основных конструкций от недопустимых усилий, возникающих при взрыве. ЗРУ напряжением до 35 кВ включительно выполняются без окон. Здания ЗРУ выполняются неотапливаемыми.

Для закрытых распределительных устройств 35-330 кВ, проектируемых для районов, где внутри помещений ЗРУ возможна температура ниже минус 40°C, следует предусматривать подогрев помещения с помощью электропечей, обеспечивающий температуру воздуха внутри помещения выше минус 40°C (с тем, чтобы можно было применять обычное оборудование, а не исполнения ХЛ). Для шкафов управления оборудованием и релейной аппаратуры в закрытых распределительных устройствах должен предусматриваться местный электроподогрев для районов, где внутри помещений ЗРУ температура может быть ниже минус 20°C.

В ЗРУ должны быть предусмотрены стационарные грузоподъемные устройства для демонтажа и монтажа выключателей и другого электрооборудования с целью ремонта его в мастерской.

9.6.11 Сборные шины закрытых распределительных устройств 6-35 кВ отделяются от шинных разъединителей перегородками с проходными изоляторами.

9.6.12 Соединение генераторов с ГРУ и трансформаторами должно выполняться, как правило, с помощью закрытых комплектных токопроводов с разделенными фазами.

Для генераторов мощностью до 63 МВт при больших расстояниях до ГРУ и трансформаторов соединения вне главного корпуса допускается выполнять открытыми гибкими токопроводами.

Соединение рабочих и резервных трансформаторов собственных нужд с КРУ 6 кВ должно выполняться токопроводами, при этом:

- токопроводы от трансформатора до выключателя должны выполняться по-фазно-экранированными или с разделенными фазами.
- токопроводы без разделения фаз могут применяться на участках, защищенных выключателями.

9.6.13 Ремонт повышающих трансформаторов, трансформаторов собственных нужд, автотрансформаторов связи и шунтирующих реакторов без снятия верхней части бака («колокола») должен выполняться на месте их установки. При необходимости снятия «колокола» трансформатор доставляют в машинный зал на ремонтную площадку или в трансформаторную мастерскую, оснащенную первичными противопожарными средствами и необходимым оборудованием. На ремонтной площадке и в трансформаторной мастерской должны быть выполнены мероприятия, предотвращающие растекание трансформаторного масла и удаление пролитого масла в маслосборники.

При установке трансформаторов (автотрансформаторов, шунтирующих реакторов) на отметках, не имеющих общих с машинным отделением железнодорожных путей, для их ремонта необходимо предусмотреть трансформаторную мастерскую с механизмами для подъема колокола, технологическим оборудованием и противопожарными средствами.

Места, предназначенные для ремонта трансформаторов, должны оборудоваться подводом электропитания, подводом осушенного сжатого воздуха и холодной воды.

Для ремонта трансформаторов на месте их установки, в машинном зале и в трансформаторных мастерских должен предусматриваться инвентарный (передвижной или переносной) комплекс технологического оборудования.

Перемещение трансформаторов с места их установки на место ремонта производится по рельсовым путям на собственных поворотных каретках с помощью поли-спасной системы и/или гидротолкателей. Для крепления полиспадов, блоков и лебедок должны быть предусмотрены «якоря». На протяженных участках путей перекатки «якоря» должны устанавливаться по оси железной дороги с расстоянием 25-30 метров один от другого.

9.6.14 Постоянные маслопроводы на электростанции прокладываются от аппаратной маслохозяйства:

- на ремонтные площадки машинных залов;
- к трансформаторной мастерской ("башне") в случае ее сооружения;
- к местам установки трансформаторов у главного корпуса;
- к месту разгрузки железнодорожных цистерн с маслом.

9.6.15 Электростанции, имеющие генераторы с водородным охлаждением должны, как правило, снабжаться водородом от собственной электролизной установки. В отдельных случаях допускается обеспечение генераторов привозным водородом, если целесообразность этого подтверждена технико-экономическим расчетом.

9.6.16 Электролизная установка выполняется с двумя электролизерами (рабочим и резервным).

Номинальная производительность каждого электролизера должна при трехсменной работе обеспечивать покрытие утечек в генераторах и ресиверах, возмещение продувок и заполнение каждого генератора водородом два раза в год. При этом предусматривается два полупроводниковых преобразовательных агрегата, каждый из которых может обеспечить максимальную производительность одного электролизера.

9.6.17 В открыто установленных ресиверах на электростанции должен храниться запас водорода для заполнения одного генератора, имеющего наибольший газовый объем плюс:

- 10-суточный запас на покрытие утечек и продувок всех генераторов при снабжении привозным водородом;
- 5-суточный запас на покрытие тех же утечек и продувок при снабжении водородом от собственной электролизерной установки электростанции.

При определении запаса водорода следует учитывать его утечку из ресиверов в размере 2,4% общего объема в сутки.

9.6.18 Снабжение генераторов инертным газом (углекислым газом или азотом) должно производиться от ресиверов централизованной установки. Минимальный запас инертного газа на электростанции должен быть не менее шестикратного объема одного генератора с наибольшим газовым объемом. Давление инертного газа в ресиверах должно быть не менее чем на  $0,5 \text{ кгс/см}^2$  выше максимального давления водорода в корпусе генератора.

Для вытеснения инертного газа из генератора используется сжатый воздух от общестанционной компрессорной.

9.6.19 На электростанциях должна предусматриваться электротехническая лаборатория для проверки, настройки и испытания устройств РЗА, измерительных приборов, панелей АВР, систем управления тиристорными преобразователями и т.п., проведения профилактических высоковольтных испытаний электротехнического оборудования, включая генераторы.

## **9.7 Средства внешней и внутриобъектной связи и телемеханики**

9.7.1 Объем средств внешней связи, таких как диспетчерская, технологическая и телемеханика тепловых электростанций проектируется на основании утвержденных схем развития диспетчерского управления энергосистемы, а при отсутствии таковых, в соответствии с ведомственными документами по выбору объемов информации и проектированию систем сбора и передачи информации в энергосистемах, по заданию Заказчика (дирекции), согласованному с энергосистемой.

9.7.2 На электростанциях предусматриваются следующие виды внутриобъект-ной связи и сигнализации:

- общестанционная связь (как правило, на аппаратуре цифровых АТС);
- система макросотовой связи;
- оперативная телефонная и громкоговорящая связь ЦЩУ, ГЩУ, БЩУ, ГрЩУ, щита ХВО, щита топливоподачи и щита мазутохозяйства, обеспечивающие телефонную связь и громкоговорящую поисковую связь;
- административная связь (как правило, на аппаратуре цифровых терминалов и консолей);
- радиофикация служебных помещений;
- ремонтная телефонная связь;
- часофикация;
- охранная сигнализация (как правило, включая радиосвязь и охранное телевидение).

9.7.3 Для ТЭС рекомендуется применять промышленное телевидение для

дистанционного наблюдения за оборудованием, в том числе в машинном и котельном отделениях главного корпуса, в распределительных устройствах, в помещениях топ-ливоподачи и др.

9.7.4 Основное оборудование связи электростанции размещается в специальных помещениях узла связи. Узел связи размещается в изолированном помещении в одном из зданий: инженерного, объединено-вспомогательного корпусов, проходной или в другом здании административного назначения.

Средства диспетчерской и оперативной командно-поисковой связи располагаются в помещениях соответствующих цехов. Оборудование диспетчерской и оперативной командно-поисковой связи щитов управления (ГЩУ, ГрЩУ, и т.д.), как правило, должно размещаться в отдельных выделенных для этого помещениях.

Аппаратура высокочастотной связи по линиям электропередачи располагается в здании релейных панелей ОРУ в изолированном помещении.

9.7.5 Электропитание устройств электросвязи тепловых электростанций осуществляется от сети ответственных собственных нужд. Для устройств общестанционной и оперативной связи предусматривается агрегат бесперебойного питания (АБП) с резервированием от аккумуляторной батареи для средств связи.

9.7.6 В подготовительный период строительства электростанции связь осуществляется в следующем объеме:

- устанавливается комплексный узел связи в составе телетайпа, автоматической телефонной станции, радиотрансляционного узла для радиопоисковой связи на территории строительства и временного жилого поселка; - сооружаются соединительные линии от ближайшего узла связи для обеспечения необходимой телефонной и телеграфной связи. Временные сооружения связи должны предусматриваться в минимальном объеме с учетом использования для связи средств постоянной связи электростанции и жилого поселка после ввода их в эксплуатацию. С этой целью средства связи станции и жилого поселка должны сооружаться в первую очередь.

## **10 СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

Настоящий раздел включает в себя нормы проектирования систем контроля и управления технологическими процессами вновь строящихся ТЭС. Вопросы управления электрической частью электростанции и водоподготовки, которые освещены в разделах 6 и 9 настоящих норм, охвачены частично.

### **10.1 Общие положения**

10.1.1 Тепловая электрическая станция должна оснащаться системами контроля и управления технологическими процессами (СКУ), как правило, в виде автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) на базе современных информационных технологий.

СКУ/АСУ ТП совместно с технологическими, электротехническими и другими системами должны обеспечивать безопасную, экономичную и надежную эксплуатацию электростанции в заданных режимах при минимальном количестве эксплуатационного, обслуживающего и ремонтного персонала.

10.1.2 АСУ ТП ТЭС, как правило, выполняется как двухуровневая система:

- на первом (блочном) уровне обеспечивается управление энергоблоками или группой технологически связанных энергоустановок;
- на втором (общестанционном) уровне выполняются функции управления электрической частью станции, координация работы энергоблоков/энергоустановок, контроль за работой вспомогательных цехов и общестанционных установок, а также обмен информацией с вышестоящими уровнями управления.

10.1.3 АСУ ТП энергоблока или группы технологически связанных энергоустановок должна обеспечивать выполнение функций контроля, сигнализации,

вычислений, дистанционного управления, автоматического регулирования, автоматического дискретного управления и технологической защиты, в том числе, выполнение следующих задач:

- сбор и обработку информации от датчиков;
- контроль достоверности входной информации;
- представление информации оператору;
- обеспечение информацией автоматических подсистем управления;
- ведение базы нормативных, оперативных, исторических и расчетных данных;
- протоколирование хода технологического процесса, последовательности выполнения технологических операций, переключений, в том числе и в аварийных ситуациях;
- расчет технико-экономических показателей работы энергетического оборудования;
- автоматическое регулирование нагрузки и технологических параметров, соотношения параметров;
- автоматическое управление оборудованием в режиме пуска, нагружения из различного теплового состояния, приведение оборудования в состояние готовности к пуску по заданным программам;
- автоматический вывод оборудования из работы без его повреждения при возникающих аварийных ситуациях;
- режимные переключения оборудования, находящегося в резерве;
- определение состояния технологического оборудования, позволяющее прогнозировать потребность и объем ремонтного профилактического обслуживания энергетического оборудования (диагностика оборудования);
- документирование состояния технологического оборудования;
- определение состояния программно-технических комплексов (ПТК) АСУ, обеспечивающее автоматическую реконфигурацию структуры ПТК в случае отказа отдельных частей и элементов комплекса и частичную или полную компенсацию утраченных функций (самодиагностика ПТК);
- документирование всех отказов и сбоев ПТК;
- обмен информацией с вышестоящими АСУ.

Состав задач, выполняемых АСУ ТП, должен уточняться при конкретном проектировании с учетом режимов работы электростанции.

10.1.4 Объем технологического контроля и управления, условия автоматизации, включая технологические алгоритмы функционирования автоматических систем управления энергоблока или энергоустановки должны приниматься по заданиям заводов-поставщиков технологического оборудования и организаций-разработчиков технологических схем энергетических установок, а также в соответствии с действующими в отрасли «Методическими указаниями по объему технологических измерений, сигнализации и автоматического регулирования на ТЭС», «Методическими указаниями по объему технологических измерений, сигнализации, автоматического регулирования на тепловых электростанциях с ПГУ, оснащенных АСУ ТП».

10.1.5 Техническая структура АСУ ТП ТЭС, как правило, должна включать в себя:

- программно-технические комплексы;
- первичные средства автоматизации оборудования;
- резервные технические средства контроля и управления.

10.1.5.1 В составе программно-технических комплексов должны быть предусмотрены:

- программируемые технические средства и устройства связи с объектом,

выполняющие функции управления, преобразования, вычисления, устройства ввода-вывода информации на базе микроконтроллеров, мини-, микро- или ПЭВМ;

- технические средства связи оператора с системой управления и технологическим процессом в виде операторских дисплейных станций индивидуального или коллективного пользования с соответствующими клавиатурами или другими устройствами;

- средства передачи данных (цифровые шины) для связи устройств ПТК между собой;

- все виды обеспечений ПТК АСУ ТП, включая организационное, информационное, лингвистическое, метрологическое, математическое, программное;

- сервисное оборудование, включая посты наладки, диагностики, реконфигурации системы.

10.1.5.2 В составе средств первичной автоматизации должны предусматриваться:

- датчики и первичные преобразователи;

- исполнительные механизмы и приводы;

- сборки задвижек;

- аппаратура, приборы и системы, поставляемые комплектно с технологическим оборудованием;

- импульсные трубные проводки и кабельные линии связи.

10.1.5.3 К резервным техническим средствам должны относиться:

- ключи (кнопки) жесткого монтажа, позволяющие осуществить передачу команд управления прямо на контроллеры ПТК или помимо ПТК непосредственно на пусковую аппаратуру;

- индивидуальные показывающие/регистрирующие приборы и устройства технологической сигнализации, работа которых не зависит от работоспособности ПТК.

Объем резервных средств контроля и управления должен быть ограничен, поскольку они используются только при отказе ПТК для безопасного и безаварийного останова энергооборудования. Объем резервных средств должен определяться при проектировании конкретного объекта.

10.1.6 В зависимости от конкретных требований на ТЭС допускается создание автономных автоматических измерительных систем:

- коммерческого учета расхода газообразного топлива;

- контроля за выбросами вредных веществ в атмосферу;

- учета водопользования с контролем сброса вредных веществ во внешние водоемы;

- учета отпуска тепловой и электрической энергии потребителям.

10.1.7 На тепловой электростанции с агрегатами небольшой единичной мощности СКУ предусматривается на базе аппаратных технических средств с возможным использованием программируемых средств для отдельных функций СКУ. Аппаратура для реализации систем контроля и управления (микропроцессорная техника или аппаратные средства) определяется с учетом типа технических средств, поставляемых комплектно с технологическим оборудованием.

10.1.8 Выполнение средствами микропроцессорной техники других функций, в том числе контроля параметров установок автоматического пожаротушения, пожарной сигнализации, регистрации ее срабатывания, контроля среды во взрывоопасных помещениях и т.д., должно обосновываться для каждой конкретной ТЭС.

## **10.2 Посты управления**

10.2.1 Для блочных электростанций и ТЭС с парогазовыми и газотурбинными установками должны предусматриваться следующие посты управления:

- центральный щит управления (ЦЩУ);



- блочные щиты управления (БЩУ);
- местные щиты управления (МЩУ) различных агрегатов энергоблока (котлоагрегата, турбоагрегата, питательного насоса и т.п.), а также общестанционных технологических установок (компрессорной, электролизерной, ГРП и ППГ и др.), не имеющие постоянного оперативного персонала, предназначенные для проведения предпусковых и пусковых операций и периодического контроля за работой оборудования;
- щиты управления (ЩУ) вспомогательных цехов (топливно-транспортного, водоподготовки, очистных сооружений).

10.2.1.1 Центральный щит управления является основным постом, с которого осуществляется руководство оперативным управлением технологическими процессами на электростанции в целом. Кроме того, с ЦЩУ производится:

- распределение нагрузки между энергоблоками и управление устройствами автоматического регулирования мощности энергоблоков;
- управление электрической частью электростанции (в объеме, указанном в разделе 9);
- распределение нагрузки между энергоблоками и управление устройствами автоматического регулирования мощности энергоблоков;
- контроль за работой общестанционных установок и отдельных технологических систем, не имеющих постоянного оперативного персонала.

10.2.1.2 Блочный щит управления должен обеспечить возможность централизованного управления всеми технологическими процессами, основным и вспомогательным оборудованием энергоблока во время его пуска, нормальной эксплуатации, планового останова и аварийных ситуаций.

Помещение блочного щита управления первого энергоблока может быть использовано для размещения щитов контроля и управления оборудованием общестанционных установок (например, ГРП или ППГ) и отдельных технологических систем, не имеющих постоянного оперативного персонала.

10.2.1.3 При необходимости, для проведения предпусковых операций и периодического контроля за работой оборудования допускается организация местных щитов управления различных агрегатов энергоблока (паровая или газовая турбина, котлоагрегат, питательный насос, блочная обессоливающая установка и т.п.).

Необходимость постоянного присутствия оперативного персонала у МЩУ должна быть исключена.

10.2.1.4 Выносные (полевые) устройства ПТК, такие как контроллеры, устройства связи с объектом и др. могут размещаться вблизи обслуживаемого ими технологического оборудования на площадке обслуживания или в отдельных помещениях.

10.2.1.5 Место расположения щитов управления должно определяться с учетом общей компоновки технологического оборудования ТЭС. При этом должны быть обеспечены:

- централизация управления технологическими процессами и, соответственно, минимальная численность оперативного персонала;
- координация управления технологически связанных агрегатов и установок (например, ГТУ и котлов-утилизаторов);
- оптимизация кабельных связей с управляемым оборудованием. Из каждого помещения должно быть предусмотрено два выхода, габариты одного из которых обеспечивают транспортировку щитовых устройств. При этом должен быть обеспечен простой и, возможности, короткий путь к технологическому оборудованию, желательно по одной отметке. Должен быть обеспечен эвакуационный короткий путь для выхода из помещения. При размещении помещений БЩУ или ЦЩУ вне главного корпуса они должны быть соединены с последним переходным мостиком.

10.2.1.6 Щиты управления двух блоков должны располагаться, как правило, в одном общем изолированном помещении на отметке основного обслуживания. В отдельных обоснованных случаях допускается установка в одном помещении щитов управления большего или меньшего числа блоков.

10.2.1.7 В составе блочного щита управления должен быть выделен оперативный контур управления, где размещаются пульта и панели с основными и резервными средствами оперативного контроля и управления энергоблока. В остальной части (или помещениях) БЩУ должны размещаться неоперативные устройства ПТК, неоперативные шкафы и панели резервных устройств контроля и управления.

На блочных щитах управления или вблизи них должны размещаться средства наладки, диагностики и реконфигурации ПТК АСУ ТП.

В помещениях БЩУ должны быть предусмотрены электрическое питание, заземление, защита от воздействия электрических и магнитных полей для обеспечения работоспособности ПТК в соответствии с техническими условиями на устройства ПТК.

10.2.1.8 Необходимость устройства кабельного этажа под помещениями щитов управления определяется конкретным техническим решением по кабельным коммуникациям щитов управления.

10.2.1.9 При установке устройств ПТК в цеховых условиях (в соответствии с техническими условиями разработчика ПТК) следует исключить несанкционированный доступ к аппаратуре контроля и управления.

10.2.2 Для электростанций с поперечными связями должны предусматриваться следующие посты управления:

- главный щит управления (ГЩУ);
- групповые щиты управления (ГрЩУ);
- щиты управления (ЩУ) вспомогательных цехов (топливно-транспортного, водоподготовки, очистных сооружений);
- местные щиты управления (МЩУ) различных агрегатов энергоблока (кот-лоагрегата, турбоагрегата, питательных насосов и т.п.), а также общестанционных технологических установок (компрессорной, электролизерной, ГРП, ППГ и др.), не имеющие постоянного оперативного персонала и предназначенные для проведения предпусковых и пусковых операций и периодического контроля за работой оборудования.

10.2.2.1 С главного щита управления производится управление генераторами и элементами главной схемы электрических соединений, включая питающие элементы собственных нужд 3-10 кВ (объем управления указан в разделе 9).

На ГЩУ предусматривается вывод информации о работе основных агрегатов, а также обобщенный контроль за работой общестанционных установок и управление ими в случаях, предусмотренных нормативными документами (например, управление общестанционной циркуляционной насосной, аварийное отключение мазутных насосов).

10.2.2.2 Управление циркуляционными насосами может выполняться с ГрЩУ в случае организации только одного ГрЩУ на электростанции.

Управление ППГ или ГРП предусматривается со щита управления одного из котлов или группы котлов (ГрЩУ) при сохранении возможности управления ими со щита ППГ или ГРП.

10.2.2.3 Количество котлоагрегатов и турбоагрегатов, управляемых с одного ГрЩУ, как правило, не должно превышать четырех. Групповые щиты управления котлами и турбинами располагаются в одном изолированном помещении по возможности центрально к обслуживаемым агрегатам. Из этого помещения организуется также управление питательными насосами, деаэраторами, РОУ, другими вспомогательными установками.

10.2.3 Управление общестанционным оборудованием, находящимся вне главного корпуса (топливоподача, мазутонасосная, пиковая котельная,

водоподготовка, золоудаление, электролизерная, компрессорная и др.) и контроль работы этого оборудования осуществляются со щитов управления, расположенных в помещениях, где это оборудование установлено или непосредственно по месту установки соответствующих механизмов.

Во всех случаях, за исключением топливоподачи, водоподготовки и пиковой котельной, контроль и управление выполняются исходя из отсутствия на этих участках постоянного дежурного обслуживающего персонала, вследствие чего при появлении неисправности в работе оборудования, на центральный (главный) щит управления подается обобщенный для каждого участка сигнал. Расшифровка причин появления сигнала осуществляется в помещении соответствующего участка.

10.2.4 В тракте топливоподачи следует автоматизировать управление механизмами и процесс загрузки бункеров топливом. Управление механизмами топливоподачи выполняется с центрального щита топливоподачи, располагаемого в изолированном от тракта топливоподачи помещении на отдельном фундаменте.

Щит управления размораживающим устройством должен располагаться в изолированном помещении.

10.2.5 На водоподготовительных установках (ВПУ) должна предусматриваться автоматизация технологических процессов, режимов регенерации и промывки фильтров, а также процесса нейтрализации сточных вод.

### **10.3 Помещения щитов управления**

10.3.1 Помещения центрального, блочного, главного и группового щитов управления, а также помещения для средств ПТК АСУ ТП должны выполняться со звукоизоляцией, кондиционированием воздуха и, при необходимости, экранироваться от воздействия электрических и магнитных полей.

Со стороны машинного отделения в помещениях БЩУ и ГЩУ допускается выполнение витража с двойным остеклением.

10.3.2 Установки искусственного климата, предусматриваемые в помещениях БЩУ/ГрЩУ и ЦЩУ/ГЩУ, предназначенных для постоянной работы оперативного персонала, должны отвечать санитарным нормам и обеспечивать съём тепловыделений от установленной в помещениях аппаратуры.

Необходимость кондиционирования воздуха в помещениях, используемых для размещения технических средств АСУ ТП, определяется техническими условиями на эти технические средства.

Как правило, не допускается прокладка над помещениями щитов управления и помещениями, где располагаются средства ПТК АСУ ТП, пароводяных коммуникаций и установка емкостей с водой или водными растворами. Отступления от этого требования должны быть технически обоснованы, а перекрытие должно иметь надежную гидроизоляцию.

Не допускается также прокладка через указанные помещения транзитных трубопроводов, вентиляционных коробов, кабельных трасс и других посторонних коммуникаций.

10.3.3 Освещение помещений постов управления должно быть, как правило, искусственным, близким к спектру дневного света, рассеянным, не создающим бликов на экранах мониторов и шкалах приборов. Освещение должно быть регулируемым.

10.3.4 Площадь помещений БЩУ и ГрЩУ, а также помещений средств ПТК рекомендуется предусматривать с учетом запаса площади до 20% на случай расширения, модернизации и реконструкции.

10.3.5 Высоту помещений оперативного контура БЩУ/ГрЩУ рекомендуется принимать не менее 4 м в свету. Интерьер щита должен выполняться по специальному проекту, входящему в архитектурно-строительную часть проекта ТЭС.

10.3.6 Вблизи помещений БЩУ/ГрЩУ должны предусматриваться помещения для сменного персонала с кладовой для оперативного ЗИПа

контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, комнаты отдыха, приема пищи и санузел.

10.3.7 В случае создания вне БЦУ/ГрЩУ отдельных обособленных изолированных помещений для размещения аппаратуры и установок управления, в них должна предусматриваться вентиляция, а при необходимости и обосновании - кондиционирование воздуха.

10.3.8 Помещения БЦУ/ГрЩУ и ЦЩУ/ГЩУ должны выполняться со звукоизоляцией. Уровень шумов от внешних источников (механизмов, трубопроводов и т.п.) не должен превышать 55 дБ в диапазоне частот от 16 до 20000 Гц.

#### **10.4 Метрологическое обеспечение**

10.4.1 В инженерно-вспомогательном корпусе предусматриваются помещения для измерительных лабораторий и ремонта приборов общей площадью:

- для КЭС мощностью от 1200 до 2400 МВт и ТЭЦ мощностью от 600 до 1200 МВт - порядка 400 м<sup>2</sup>;
- для КЭС мощностью 2400 МВт - порядка 600 м<sup>2</sup>;
- для КЭС мощностью 6400 МВт - порядка 1500 м<sup>2</sup>.

Общие площади помещений для ремонта приборов уточняются и соответственно уменьшаются в случае организации централизованного ремонта в регионе ТЭС.

10.4.2 При назначении точности измерений, выборе средств и методик выполнения измерений, размещении и обслуживании измерительного и ремонтного оборудования необходимо руководствоваться действующими государственными и отраслевыми нормативными документами по метрологическому обеспечению.

### **11 ГИДРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

#### **11.1 Системы охлаждения и технического водоснабжения**

11.1.1 Выбор системы охлаждения и источников водоснабжения электростанции следует проводить на основе комплексного анализа гидрологических, геологических и климатических данных с учетом требований охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, надежности и экономичности работы электростанции, стоимости и сроков строительства.

11.1.2 Системы охлаждения и технического водоснабжения электростанций следует принимать оборотными с гидроохладителями.

11.1.3 Предпочтение следует отдавать оборотным системам с наливными и отсеченными водоемами-охладителями.

Если площадь проектируемого водоема- охладителя недостаточна для проектной мощности новой или расширяемой электростанции, следует рассматривать комбинированные системы, сочетающие водоем, брызгальные установки над акваторией и другие гидроохладители..

11.1.4 В качестве альтернативы системам водяного охлаждения следует рассматривать системы воздушного («сухого») охлаждения с сухими и гибридными градирнями, а также с воздушными конденсаторами.

11.1.5 Для конденсационных электростанций номинальные расходы охлаждающей воды следует принимать по техническим условиям на оборудование.

11.1.6 Для теплофикационных электростанций номинальные расходы охлаждающей воды определяются по летнему конденсационному режиму с учетом суточного графика тепловых и электрических нагрузок.

11.1.7 Расчетные расходы охлаждающей воды в конденсаторы и другие теплообменники турбин определяются по рабочим точкам характеристик насосов и системы проводящей сети.

Для конденсационных электростанций следует рассматривать возможность в жаркий период года увеличения расхода воды в конденсаторы до 15% от номинального, в холодный период года снижения до 50% от номинального.

Для сокращения расхода воды следует проверять возможность подключения вспомогательных теплообменников оборудования последовательно по охлаждающей воде. При этом теплообменники, допускающие повышенную на 2-3°C температуру воды (маслоохладители, охладители отборов проб, подшипников и т.п.), следует подключать за теплообменниками электрооборудования (охладителями обмоток генераторов, электродвигателей ПЭН и т.п.).

11.1.8 Выбор источников водоснабжения должен проводиться на основе комплексного анализа гидрологических, геологических и климатических данных, с учетом требований «Водного кодекса» РФ, экологического, природоохранного законодательства, надежности и экономичности работы электростанции.

11.1.9 За расчетные расходы воды в источнике водоснабжения для подпитки оборотных систем с наливными или отсечными водоемами - охладителями следует принимать среднемесячные расходы обеспеченностью 95% (повторяемостью 1 раз в 20 лет).

За расчетные расходы воды в источнике водоснабжения для подпитки оборотных систем с градирнями и брызгальными бассейнами следует принимать среднесуточные расходы обеспеченностью 97% (повторяемостью 1 раз в 33 года). Расчетную обеспеченность уровней воды в источниках водоснабжения следует принимать:

- минимальных – 97% (повторяемостью 1 раз в 33 года);
- максимальных – 0,1% (повторяемостью 1 раз в 1000 лет).

11.1.10 Главный корпус электростанций с водоемами-охладителями следует располагать возможно ближе к берегу водоема на незатапливаемых паводками отметках с учетом гидрологических, геологических и прогнозируемых гидрогеологических условий.

11.1.11 Подвод и отвод охлаждающей воды к машзалу рекомендуется осуществлять открытыми каналами со стороны постоянного торца. При неразмывающих скоростях движения воды в открытых каналах их откосы на территории промплощадки следует крепить в зоне колебания уровней монолитным железобетоном по слою пес-чано-гравийной (щебеночной) подготовки.

Подвод и отвод воды подземными закрытыми железобетонными каналами и стальными трубопроводами допускается в стесненных условиях пристанционного узла и неблагоприятных геологических и гидрогеологических условиях площадки.

11.1.12 В целях оптимизации параметров и схемы использования водоемов-охладителей следует рассматривать возможность создания объемной циркуляции путем устройства глубинных водозаборов и поверхностных водовыпусков. Глубинные водозаборы следует размещать в местных углублениях рельефа дна, выработанных карьерах или специальных выемках с глубинами более 5 м.

Окончательная оценка охлаждающей способности водоема с прогнозом температур воды и принятых компоновочных решений производится по результатам математического или гидротермического моделирования.

11.1.13 В составе проекта водоема – охладителя должны приводиться прогнозы водно-химического режима, переработки берегов, заиления и зарастания водоема водной растительностью и мероприятия по предотвращению негативных воздействий указанных факторов.

11.1.14 Для снижения напора циркуляционных насосов оборотной системы охлаждения с водоемами – охладителями следует предусматривать использование сифона. Величина сифона (от верха водяной камеры конденсатора до минимального пьезометрического уровня в сливной трубе) следует принимать до 8,5 м.

Для регулирования высоты сифона водосливные стенки общих сифонных колодцев рекомендуется выполнять со съёмными шандорными балками.

Присоединение сливных труб эжекторов и других сбросов к сливным водоводам

конденсаторов не допускается.

11.1.15 При проектировании гидротехнических сооружений следует прогнозировать изменения уровней грунтовых вод и предусматривать мероприятия по предотвращению подтопления населенных пунктов, промплощадки, сельскохозяйственных и лесных угодий.

При необходимости следует предусматривать строительство дренажных систем. При наличии в основаниях зданий и сооружений суффозионно-опасных грунтов следует предусматривать дополнительные мероприятия по предотвращению и контролю утечек воды из емкостных сооружений и водоводов, а также воздействия дренажных систем на грунты оснований зданий и сооружений.

11.1.16 Для систем охлаждения с водоемами - охладителями параметры охладителей определяются по среднемесячным метеорологическим условиям жаркого лета 10% обеспеченности с учетом осредненных по месяцам графиков энергетических нагрузок основного оборудования.

11.1.17 Для оборотных систем охлаждения с градирнями и брызгательными бассейнами параметры охладителей принимаются по среднесуточным замеренным в 7, 13 и 19 часов метеорологическим параметрам за летний период жаркого года 5% обеспеченности с учетом суточного графика нагрузок.

11.1.18 Оборотные системы охлаждения с градирнями, как правило, следует проектировать с центральными одноподъемными схемами подачи охлаждающей воды. При выборе типа градирен предпочтение следует отдавать башенным градирням.

Для электростанций с пиковыми режимами нагрузок и теплофикационных, а также размещаемых в районах с высокими температурами и влажностью воздуха следует рассматривать целесообразность применения вентиляторных градирен. Количество градирен должно быть, как правило, не менее двух.

Для каждой электростанции рекомендуется применять градирни с одинаковой геометрической (геодезической) высотой подъема воды.

11.1.19 Градирни должны быть оснащены воздухорегулирующими, водоулавливающими устройствами и ветровыми перегородками. В башенных градирнях должна быть предусмотрена возможность перераспределения гидравлической и тепловой нагрузок по площади градирни с увеличением их в зимний период в периферийной зоне.

Должны предусматриваться мероприятия против обледенения конструкций градирен.

В вентиляторных градирнях должны применяться, как правило, двухскоростные двигатели и, при соответствующем обосновании, с частотным регулированием числа оборотов.

11.1.20 Вытяжные башни градирен должны выполняться, как правило, из монолитного железобетона или стального каркаса (каркасно-обшивные градирни) с внутренней обшивкой.

11.1.21 Вытяжные башни в монолитном железобетоне надлежит проектировать гиперболической формы как наиболее рациональной в аэродинамическом и экономическом отношении.

11.1.22 В целях повышения надежности железобетонных конструкций градирен следует предусматривать мероприятия по влагопарозащите внутренних поверхностей оболочки вытяжной башни.

Стальные каркасы башен градирен должны быть защищены от атмосферной и электрохимической коррозии, защитные покрытия должны обеспечивать срок эксплуатации не менее 25 лет. При применении для обшивки каркасных башен градирен полимерных материалов следует учитывать изменение их физико-механических характеристик в результате старения за период эксплуатации.

11.1.23 В каркасно-обшивных градирнях в зоне оросителя следует

предусматривать установку водоотбойных щитов из полимерных или других устойчивых против коррозии материалов, устройство водосборных желобов для отвода воды в основании обшивки.

Крепление алюминиевых или полимерных листов обшивки должно выполняться оцинкованными крепежными элементами.

11.1.24 Оросительные и водоуловительные устройства градирен следует проектировать из полимерных материалов, которые должны быть стойкими к перепадам температуры от минус 50°C до плюс 50°C, к замораживанию и размораживанию, к воздействию влаги, ультрафиолетовому воздействию, возгоранию.

11.1.25 Оросительное и водоуловительное устройства должно быть предусмотрено, как правило, в виде блоков, конструкция и размещение которых обеспечивает равномерное распределение потоков воды и воздуха по площади градирни, отсутствие видимых сквозных щелей и неплотностей между блоками оросителя и конструкциями градирни, сохранение геометрических размеров и формы при механическом воздействии на них.

11.1.26 В градирнях и брызгальных бассейнах следует предусматривать сигнализацию максимальных и минимальных уровней воды в бассейнах с выносом сигналов на щиты управления.

11.1.27 Для предотвращения замерзания воды в трубопроводах и бассейнах градирен, отключаемых на зимний период, следует предусматривать водоотвод из напорных труб и пропуск воды через водосборные бассейны.

11.1.28 Допускается транзитный пропуск воды через бассейны нескольких градирен и брызгальных установок с обеспечением возможности отключения и опорожнения любого бассейна.

11.1.29 Брызгальные установки, предназначенные для параллельной работы с водоемами - охладителями, для предварительного охлаждения сбрасываемой воды и маневренные пиковые брызгальные охладители рекомендуется размещать над поверхностью водоемов, открытых емкостей и каналов.

11.1.30 Техничко-экономические показатели электростанции определяются по метеорологическим условиям среднего года 50% обеспеченности.

Ограничения располагаемой мощности электростанции следует определять по максимальным дневным температурам охлаждающей воды жаркого лета 10% обеспеченности.

11.1.31 Для повышения надежности водообеспечения, увеличения регулирующей емкости системы водоснабжения с градирнями, сбора и утилизации очищенных сточных вод, снижения максимальных расходов и обеспечения равномерности подачи добавочной воды рекомендуется предусматривать аккумулирующую открытую емкость запаса технической воды на промплощадке.

Объем открытой аккумулирующей емкости, каналов и водосборных резервуаров градирен при сработке на 1,0-1,5 м должен обеспечить работу электростанции без подпитки из источника водоснабжения не менее суток.

11.1.32 При проектировании водоемов - охладителей следует предусматривать подготовку ложа к затоплению: перенос исторических памятников и строений, кладбищ и могильников, сводку и вывоз леса, вырубку кустарников, корчевку пней в районах планируемых зон отдыха и пляжей, удаление или пригруз торфа, санитарную обработку и другие мероприятия в соответствии с действующими нормативами и требованиями местных санитарных и природоохранных органов.

В прирезной зоне по периметру водоема, как правило, предусматривается посадка лесных полос и кустарниковых илофильтров шириной не менее 50 м.

Глубину вновь проектируемых водоемов следует принимать не менее 3,5 м от среднелетнего уровня на 80% акватории.

11.1.33 При размещении на реках водозаборных сооружений (водоприемников,

насосных станций, прорезей, ковшей, головных сооружений подводящих каналов и др.), их количество и места расположения принимаются с учетом гидрологического режима реки, устойчивости русла и берегов, ледовых и шуговых явлений, количества и характера движения наносов, режима судоходства, периода и характера миграции рыбной молоди, распространения водной растительности и моллюсков.

При трубчатых водозаборах число водозаборных оголовков и трубопроводов должно быть не менее двух.

11.1.34 Водозаборные сооружения на реках и водоемах должны быть оснащены рыбозащитными сооружениями.

11.1.35 Проектирование рыбозащитных сооружений следует осуществлять на основании рыбоводно-биологического обоснования, выполненного специализированной научно-исследовательской организацией.

11.1.36 Водоприемники насосных станций должны быть оборудованы соро-удерживающими решетками, решеткоочистными машинами, водоочистными сетками, затворами, ремонтными загораживаниями и подъемно-транспортными средствами. Очистка вращающихся сеток должна быть автоматизирована.

Для предотвращения нарушений нормальной работы водоприемника из-за льда, шуги и обмерзания оборудования следует предусматривать заглубленные под минимальный зимний уровень забральные стенки перед водозаборными окнами и подвод к ним теплой воды из сбросных водоводов.

11.1.37 В насосных станциях с расположением электродвигателей основных насосов на затапливаемых при авариях арматуры отметках обратные клапаны и задвижки устанавливаются в изолированных помещениях или в камерах переключений вне насосных станций. На всех трубопроводах насосных станций и в камерах переключений следует, как правило, применять стальную арматуру.

Слив дренажных вод из камер переключений в дренажные приемки насосных помещений не допускается.

В подземной части насосных помещений следует предусматривать не менее двух автоматизированных дренажных насосов. Предпочтение должно отдаваться насосам вертикального моноблочного исполнения.

11.1.38 Насосные станции – блочные, центральные, добавочной воды, а также насосные градирен и брызгальных бассейнов проектируются с надземным строением и крановым оборудованием. К насосным станциям должен быть обеспечен подъезд.

Насосные станции систем охлаждения проектируются без постоянного обслуживающего персонала. В насосных станциях следует предусматривать монтажные площадки, системы вентиляции и отопления.

Камеры переключений рекомендуется проектировать без надземного строения, предусмотрев возможность применения для монтажа и ремонтов передвижного грузоподъемного оборудования.

11.1.39 Управление работой циркуляционных насосов принимается дистанционным.

Мощность электродвигателей насосов выбирается с учетом возможности работы во всех режимах, отвечающих характеристикам насосов, при пуске и развороте агрегатов как при номинальном напряжении на клеммах электродвигателей, так и при напряжении, равном 0,8 от номинального.

11.1.40 Для обеспечения надежности пуска и останова осевых и диагональных насосов (минимальное время перехода через нерабочую зону характеристики) следует, при необходимости, предусматривать двухскоростные электродвигатели, клапаны или вестовые трубы для впуска воздуха из верхних точек системы, клапаны срыва вакуума в верхних точках сливных водяных камер конденсаторов, предварительное заполнение водой циркуляционных трубопроводов с помощью пусковых эжекторов циркуляционной системы, устройство холостых водовыпусков из напорных



трубопроводов.

11.1.41 Циркуляционные насосы первых блоков электростанции с водохранилищем рекомендуется устанавливать с достаточным по кавитационному запасу заглублением оси рабочего колеса насоса под минимально-возможный уровень воды в водоеме - охладителе, принимаемый на пусковой период.

11.1.42 При блочных схемах подачи воды в конденсаторы турбин и теплообменники рекомендуется устанавливать один циркуляционный насос на каждый поток конденсационного устройства.

На напорных и сливных трубопроводах, когда каждый осевой или диагональный циркуляционный насос работает на самостоятельный трубопровод, обратные клапаны и задвижки не устанавливаются.

11.1.43 При центральных схемах подачи воды количество циркуляционных насосов следует принимать не менее четырех без резерва.

При морском водоснабжении в центральной насосной следует предусматривать установку резервного насоса.

11.1.44 В насосных станциях подпитки оборотных систем водоснабжения следует устанавливать не менее двух рабочих и одного резервного насосных агрегатов.

Количество и параметры насосов следует определять с учетом изменений во-допотребления по сезонам и режимам работы электростанции, а также аккумулярующей способности систем.

Для заглубленных насосных станций предпочтительно применение вертикальных насосов с электродвигателями, размещаемыми на незатапливаемых отметках.

11.1.45 Для подачи добавочной воды в оборотные системы технического водоснабжения проектируется, как правило, один водовод.

При этом следует предусматривать на площадке электростанции или вблизи нее емкость запаса технической воды на время ликвидации возможной аварии на водоводе.

11.1.46 Внеплощадочные трубопроводы систем водоснабжения следует проектировать из коррозионностойких труб (полимерных, железобетонных, асбоцементных, чугунных и т.п.) или стальных труб, защищенных от агрессивного воздействия грунтовых вод, грунтов или электрохимической коррозии.

11.1.47 Циркуляционные трубопроводы систем охлаждения на площадке электростанции следует проектировать, как правило, стальными.

11.1.48 Подземные стальные трубопроводы должны быть защищены от коррозии наружным гидроизоляционным покрытием.

При необходимости применяется дополнительная катодная и/или протекторная защита.

При агрессивной воде и скорости коррозии стали свыше 0,08 мм/год следует предусматривать защиту внутренних поверхностей труб.

11.1.49 Для всех систем охлаждения и технического водоснабжения, на основе гидрохимических и гидробиологических прогнозов качества воды следует предусматривать с вводом первого блока меры по предотвращению образования минеральных и органических отложений на теплообменных поверхностях оборудования и градирен.

Конденсаторы турбин следует оснащать установками непрерывной очистки трубок эластичными шариками и фильтрами предочистки.

11.1.50 Конструкционные материалы гидротехнических сооружений следует выбирать с учетом химической обработки, упаривания и других факторов, влияющих на агрессивность воды. Для обеспечения допустимой концентрации солей в воде оборотных систем охлаждения следует рассматривать возможность и целесообразность использования вод продувки оборотных систем для подпитки системы гидрозолоудаления, водоподготовки, теплосети, в сельскохозяйственном и

промышленном производствах или сброс продувочных вод в источник в периоды паводков.

11.1.51 При наличии в источниках водоснабжения моллюсков следует проектировать циркуляционные системы без застойных зон со скоростями течения воды выше 2 м/с, а также предусматривать периодическую профилактическую промывку систем горячей водой с температурой до 45°C. При обосновании допускается хлорирование воды, покрытие антиобрастающими красками.

11.1.52 Башни градирен в районах с расчетной температурой воздуха наиболее холодной пятидневки не ниже минус 28°C следует выполнять из монолитного железобетона. При более низкой расчетной температуре воздуха башни градирен следует выполнять со стальным каркасом и внутренней обшивкой листами из алюминиевых сплавов или пластмасс.

11.1.53 Гидротехнические сооружения следует оснащать контрольно-измерительными устройствами и указаниями предельно допустимых значений контролируемых параметров, периодичностью фиксации измерений и форм их записи.

11.1.54 В проектах гидротехнических сооружений должен быть определен состав контролируемых в период строительства и эксплуатации показателей состояния сооружений и их предельно-допустимых значений.

Кроме того, должны быть определены критерии безопасности по предельным состояниям при оценке устойчивости и прочности, фильтрационной прочности, деформаций.

11.1.55 Для охлаждения оборудования, требующего более низких температур охлаждающей воды, чем в оборотной системе технического водоснабжения (газоохладители генератора, парозежекторные и компрессионные холодильные машины и др.) рекомендуется использовать подпиточную воду до поступления ее в циркуляционную систему.

## **11.2 Внешние золошлакоудаление**

11.2.1 Выбор способа и системы транспорта золы и шлаков определяется возможностью максимального использования золошлаков и экологическими требованиями.

При сухих способах золоулавливания золу следует транспортировать пневмотранспортом до бункеров склада, откуда сухая зола должна выдаваться потребителям, а ее избытки транспортироваться по трубопроводам в гидравлический или сухой отвал. Производства по переработке золошлаков рекомендуется располагать вблизи промплощадки ТЭС.

11.2.2 Целесообразность отдельного или совместного внешнего гидротранспорта золы и шлака на отвал определяется на основе требований потребителей отдельно на золу и шлак, а при отсутствии требований – на основании технико-экономического сопоставления вариантов.

Для удаления шлака в котельной рекомендуется использовать эрлифты с подачей шлаковой пульпы на дренируемый шлакоотстойник вблизи главного корпуса или промплощадки.

11.2.3 Водоснабжение систем гидрозолоудаления следует проектировать, как правило, оборотным.

11.2.4 От каждой багерной насосной станции на золоотвал укладывается один рабочий и один резервный золошлакопровод. При длине трассы до 5 км допускается укладка одного резервного золошлакопровода на две багерные насосные при разности их диаметров не более 50 мм.

При дальнем гидротранспорте (свыше 10 км) допускается укладывать дополнительный ремонтный золошлакопровод.

На один золопровод допускается параллельная работа двух однотипных

багер-ных насосов.

11.2.5 Магистральные золошлакопроводы, как правило, должны прокладываться надземно на лежневых опорах без установки компенсаторов и анкерных опор с углами поворота, обеспечивающими их самокомпенсацию. Разводящие золошлакопроводы допускается прокладывать по гребню дамб без лежней.

При раздельном гидротранспорте золы и шлака при соответствующем обосновании допускается подземная прокладка золопроводов.

11.2.6 Применение камнелитых втулок для защиты золошлакопроводов от абразивного износа должно быть обосновано экономически с учетом повышения напоров багерных насосов и несущей способности опор под золошлакопроводы.

Золошлакопроводы рекомендуется футеровать только на начальном участке трассы длиной около 1000 м и участков с уклоном более 1%.

11.2.7 В районах с расчетной температурой наружного воздуха ниже минус 15°C и при длине трасс золошлакопроводов свыше 5 км определяется незамерзающая длина трубопровода в режиме работы и опорожнения. В необходимых случаях принимаются меры по предотвращению замерзания золошлакопроводов.

11.2.8 Для промывки золошлакопроводов должен быть предусмотрен подвод воды на всас каждого багерного насоса в количестве равном подаче насоса.

Опорожнение золошлакопроводов в водоемы и системы канализации не допускается.

11.2.9 Продольный профиль трассы золошлакопроводов должен обеспечивать самотечное их опорожнение в приемные емкости багерных насосных или на золоотвал.

При неблагоприятном профиле трассы или большой ее протяженности предусматриваются специальные земляные резервуары суммарной емкостью, равной объему всех уложенных золошлакопроводов опорожняемой части трассы ГЗУ.

Время опорожнения трубопровода не должно превышать 2-х часов.

11.2.10 Минимальный уклон напорных золошлакопроводов должен быть:

- при транспорте золы - 0,002
- при транспорте твердого шлака - 0,003
- при транспорте жидкого шлака - 0,005

При совместном транспорте золы и шлака уклоны принимаются как при транспорте соответствующего вида шлака.

11.2.11 В насосных станциях осветленной воды, как правило, предусматриваются два рабочих насоса и один резервный. Суммарную подачу рабочих насосов следует принимать равной суммарной подаче рабочих багерных насосов. При подаче осветленной воды для промывки отключаемого золошлакопровода и на другие нужды ТЭС предусматривается включение резервного насоса.

При опасности образования отложений в тракте осветленной воды следует предусматривать дополнительный ремонтный насос.

Допускается применение плавучих насосных станций осветленной воды. Работа насосной станции осветленной воды автоматизируется.

11.2.12 Как правило, следует предусматривать два водовода (рабочий и резервный) осветленной воды из стальных или железобетонных труб. При химическом составе осветленной воды, приводящем к зарастанию водоводов интенсивностью свыше 5% живого сечения водовода в год, диаметр водоводов следует увеличивать на 20% против расчетного.

11.2.13 Размеры площадок под резервные золошлакоотвалы должны выбираться с учетом объема использования золошлаков, но не менее чем из расчета обеспечения работы ТЭС в течение 25 лет полной мощностью.

Капитальные вложения на строительство сооружений системы гидрозолоудаления и емкость золоотвала следует предусматривать достаточными для

работы станции полной мощностью в течение 10 лет. При этом, высоту первичных ограждающих дамб следует назначать исходя из способа складирования золошлаков и их физико-технических характеристик.

Возведение дамб на полную высоту допускается только при использовании местных грунтов, карьеры которых располагаются в пределах строящегося золошлакоотвала.

11.2.14 Золошлакоотвалы должны проектироваться с учетом последующего наращивания ограждающих дамб. При многоярусном наращивании золоотвала, как правило, первичные дамбы следует предусматривать из водопроницаемого грунта, а дамбы наращивания - из золошлаков.

У основания верхового откоса дамб следует предусматривать дренажи, а намыв золошлаков вести по схеме «от дамбы к пруду» с намывом пляжей из крупных фракций золошлаков.

Для обеспечения наращивания дамб в процессе эксплуатации, золошлакоотвалы секционируются. По заданию Заказчика следует предусматривать узлы выдачи зо-лошлаковой смеси потребителям.

11.2.15 Местоположение и конструкция водосбросных сооружений должны приниматься с учетом возведения золоотвала на конечную высоту. На каждую секцию золоотвала следует предусматривать не менее двух водосбросных сооружений на полный расход воды каждое.

Водосбросные сооружения рекомендуется предусматривать в виде шахтных шандорных колодцев, наклонных водозаборных галерей или других типов.

11.2.16 Емкость бассейна осветленной воды должна обеспечивать возможность приема воды из золоотвала на время не менее 24 часов в случае перерыва электроснабжения, а также сработку его при наращивании шандорных колодцев.

Установку оси рабочего колеса насосов следует предусматривать ниже минимального уровня воды в бассейне. Присоединение трубопроводов осветленной воды от шахтных колодцев непосредственно к всасывающему патрубку насоса недопустимо.

11.2.17 Устойчивость ограждающих дамб золошлакоотвала следует рассчитывать аналогично плотинам соответствующего класса, с учетом предельной высоты заполнения золошлакоотвала.

В проектах каждого яруса ограждающей дамбы золошлакоотвала, кроме расчета на устойчивость очередного яруса дамбы, должен производиться поверочный расчет нижележащей дамбы и ярусов наращивания с учетом фактических физико-механических свойств отложившихся золошлаков и грунтов основания дамбы.

11.2.18 В проекте должен быть определен состав контролируемых в период строительства и эксплуатации показателей состояния ограждающих дамб и их предельно-допустимых значений.

Кроме того, должны быть определены критерии безопасности по предельным состояниям при оценке устойчивости и прочности, фильтрационной прочности, деформаций.

11.2.19 Водный баланс системы ГЗУ следует проектировать дефицитным. Расчет водного баланса выполняется по гидрологическим и метеорологическим факторам среднего года для летнего и зимнего сезонов. Для определения избытка или дефицита воды в системе гидрозолоудаления выполняются поверочные расчеты:

- для маловодного года с 10% обеспеченностью испарения и 90% обеспеченностью осадков;

- для многоводного года с 10% обеспеченностью осадков и 90% обеспеченностью испарения.

Устанавливается максимальный расход добавочной воды и емкость отстойного

пруда золоотвала для аккумуляции избытка стока.

Подпитка системы ГЗУ осуществляется сточными водами ТЭС, допустимым санитарными нормами качеством.

11.2.20 Поверхностный сток водосборной площади золошлакоотвала, как правило, следует перехватывать и отводить за пределы отвала.

Сооружения для отвода поверхностного стока должны проектироваться с учетом расширения золошлакоотвалов. Водоотводящее сооружение, как правило, должны располагаться вне территории, заполняемой золошлаками.

11.2.21 При опасности образования в коммуникациях осветленной воды отложений гидрата окиси кальция, необходимо рассматривать возможность выдержки осветленной воды в золоотвале в течение 250-300 часов, а при образовании отложений карбоната кальция – 100-150 часов. При соответствующем обосновании допускается предусматривать специальный бассейн выдержки или отсек золоотвала.

Для очистки трубопроводов от минеральных отложений следует предусматривать установку по обработке смесью воды и дымовых газов или другие способы очистки.

11.2.22 Для определения мер предотвращения загрязнения подземных вод следует выполнять прогнозы химического состава осветленной воды и расчеты фильтрации из золоотвалов. При необходимости следует предусматривать противофильтрационные мероприятия или сбор и перекачку в золоотвал фильтрационных (дренажных) вод.

Для контроля влияния фильтрации из золоотвала на подземные воды вокруг новых и расширяемых золоотвалов следует предусматривать создание сети наблюдательных скважин и пьезометров для измерения уровней, расхода и химического состава воды фильтрующей из золоотвала.

Для снижения влияния фильтрации из золоотвала на подземные воды и окружающие золоотвал земли следует предусматривать перехватывающие дренажные устройства и скважины, понуры и экраны из связанных грунтов, полимерных или асфальтовых материалов.

11.2.23 Для борьбы с пылением золошлакоотвалов следует предусматривать мероприятия в соответствии с ведомственными рекомендациями по борьбе с пылением действующих и отработанных золошлакоотвалов ТЭС.

11.2.24 При расположении золошлакоотвалов вблизи жилой застройки следует предусматривать сетчатые ограждения и освещение вокруг части или всего золошлакоотвала, а также озеленение санитарно-защитной зоны шириной 300÷500 м.

11.2.25 Дамбы золошлакоотвалов следует оснащать контрольно-измерительной аппаратурой (пьезометрами, поверхностными и глубинными реперами, марками) с указанием предельно допустимых значений контролируемых параметров и периодичностью измерений.

## **12. ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ**

### **12.1. Общие требования**

12.1.1. Геометрические параметры зданий и сооружений ТЭС (пролеты, высоты этажей, шаг конструкций) следует назначать руководствуясь требованиями ГОСТ 23838 с учетом требований СНиП 31-03-2001, СНиП 31-05-2003, СНиП 2.09.04-87\*, СНиП 21-01-97\* и настоящих норм.

Пролеты зданий и сооружений, рекомендуется назначать кратными 3 м, в отдельных случаях - кратными 1,5 м.

12.1.2. Шаг колонн зданий, как правило, следует принимать 6 или 12 м. Для главных корпусов шаг колонн допускается принимать в соответствии с технологическим модулем.

12.1.3. Высоту одноэтажных зданий (до низа несущих конструкций покрытия) и высоты этажей многоэтажных зданий следует принимать кратными 0,3 м.

Высоту подземных частей зданий и сооружений, галерей топливоподачи и переходных мостов допускается принимать кратными 0,1 м.

12.1.4 Привязки несущих конструкций к координационным осям следует принимать нулевыми или осевыми в зависимости от принятых конструктивных решений.

Привязки конструкций к координационным осям в поперечном направлении следует, как правило, назначать нулевыми.

12.1.5 Температурные швы в зданиях следует проектировать путем установки парных несущих конструкций.

В главных корпусах с закрытыми котельными отделениями поперечные температурные швы следует располагать между котлами.

Помещения щитов управления следует располагать в пределах одного температурного блока.

12.1.6 Степень огнестойкости зданий и сооружений ТЭС следует назначать по СНиП 31-03-2001, исходя из категории производства по взрывопожарной и пожарной опасности помещений в зданиях (сооружениях), класса конструктивной пожарной опасности здания и его габаритов (высота, число и площадь этажей).

Требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций должны назначаться по СНиП 21-01-97\* с учетом требований РД 153-34.0-49.101-2003 и настоящих норм.

12.1.7 При проектировании ТЭС следует рассматривать возможность размещения в одном здании помещений различных производств, в том числе складских, лабораторных, бытовых помещений, если их объединение не противоречит требованиям норм безопасности (взрывопожарной, пожарной и др.) и санитарно-гигиенических норм.

12.1.8 Окраску помещений и оборудования следует проектировать в соответствии с ГОСТ 14202-69 и ГОСТ Р 12.4.026-2001.

Для металлических конструкций следует предусматривать защиту от коррозии и, в необходимых случаях, огнезащиту. Окраску конструкций выполнять с учетом цветового решения интерьеров и фасадов.

12.1.9 Проектирование подземных частей зданий и сооружений ТЭС следует вести с учетом прогнозируемого уровня подземных вод в процессе эксплуатации.

12.1.10 При проектировании фундаментов под машины с большими динамическими нагрузками (турбоагрегаты, питательные насосы, дымососы, дробилки, мельницы, дутьевые вентиляторы и др.) следует предусматривать деформационные швы между фундаментами оборудования и конструкциями зданий и сооружений.

12.1.11 На междуэтажных перекрытиях установка тяжелого технологического оборудования с динамическими нагрузками (мельниц, дробилок, питательных насосов, дутьевых вентиляторов, дымососов) не допускается.

12.1.12 Площадки и перекрытия для обслуживания оборудования следует предусматривать минимальных размеров и опирать их, по возможности, непосредственно на обслуживаемое оборудование.

12.1.13 Для очистки окон производственных зданий с внутренней стороны следует использовать технологические площадки, горизонтальные элементы связей по колоннам или предусматривать специальные подъемные устройства.

С наружной стороны очистку окон следует предусматривать с подвесных люлек или с помощью специальных подъемных устройств.

12.1.14 Участки кровель, на которых располагаются оборудование, выхлопные трубопроводы и другие устройства, требующие обслуживания и ремонта, следует проектировать с защитным покрытием в соответствии с требованиями СНиП по проектированию кровель.

12.1.15 В конструкциях зданий и сооружений следует предусматривать устройства молниезащиты в соответствии с указаниями РД 34.21.122-87. Необходимость устройства и категория молниезащиты устанавливаются технологами.

## **12.2. Главный корпус**

12.2.1. Конструкции междуэтажных перекрытий надбункерных галерей и помещений топливоподачи в башне пересыпки должны выполняться из негорючих материалов с пределом огнестойкости не менее REI 45. В надбункерных галереях и помещениях топливоподачи в башне пересыпки допускается применять несущие стальные конструкции с пределом огнестойкости не ниже REI 45.

12.2.2. Надбункерное помещение должно быть отделено от котельного отделения противопожарной перегородкой 1-го типа по СНиП 21-01-97\*. Из надбункерного помещения помимо выходов в лестничную клетку должны быть предусмотрены выходы в котельное отделение на площадки котлов или балкон не реже чем через 150 м.

В надбункерном помещении должны быть предусмотрены оконные проемы или легкобрасываемые покрытия суммарной площадью не менее  $0,03 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  объема помещения. Конструкция окон и легкобрасываемых покрытий должна соответствовать требованиям СНиП 31-03-2001.

12.2.3. Для погашения взрывного давления и для отвода из котельной (при любом виде топлива) и помещения пылеприготовления газов, образовавшихся во время взрыва, должны быть предусмотрены окна хотя бы на одной продольной наружной стене помещения. Площадь окон должна быть не менее 20% площади одной из наибольших стен помещения котельной с учетом в необходимых случаях площади примыкающих к ней стен помещений газоочистки или тягодутьевых устройств. Окна могут быть размещены на стенах котельной и указанных помещений. Площадь одного листа стекла и его толщина должны соответствовать требованиям СНиП 31-03-2001.

Эти требования не распространяется на котельные отделения при котлах-утилизаторах (без дожигания).

12.2.4. Стены в надбункерных помещениях, помещениях пылеприготовления и котельных должны быть гладкими и окрашены водостойкой краской.

Оконные переплеты в помещениях пылеприготовления и в котельных (при сжигании угля или торфа) следует располагать в одной плоскости с внутренней поверхностью стен. Имеющиеся выступы и подоконники следует выполнять с откосами под углом не менее  $60^\circ$  к горизонту и окрашивать водостойкой краской или облицовывать плитками.

12.2.5. Шахты лифтов, размещаемые в котельных отделениях между котлами, допускается ограждать металлическими сетками. Стены машинных отделений этих лифтов следует проектировать закрытыми.

12.2.6. Бункера сырого угля и пыли надлежит проектировать с гладкой внутренней поверхностью и такой формы, которая обеспечивает возможность полного спуска из них топлива самотеком. Внутри бункеров не допускаются выступы, на которых может задерживаться топливо.

Верхняя часть бункеров должна вплотную примыкать к перекрытию. Люки в перекрытиях над бункерами следует предусматривать закрываемыми металлическими крышками заподлицо с полом.

12.2.7. Между бункерами пыли и сырого угля не допускается проектирование общих стенок. Расстояние между стенками указанных бункеров должно быть не менее 200 мм.

12.2.8. В бункерах пыли углы между стенками должны быть плавно закруглены или скошены. Угол наклона стен воронок или бункеров к горизонту должен быть не менее 60 град.

Бункера пыли, а также места присоединения к ним трубопроводов, патрубков и

течек должны быть плотными. Конструкция бункера должна обеспечивать его герметичность при испытании на давление воздуха 400 мм водяного столба.

12.2.9. Стенки металлических бункеров пыли должны иметь снаружи тепловую изоляцию из негорючих материалов, толщина которой устанавливается расчетом. Перекрытия над ними должны быть пыленепроницаемыми.

12.2.10. Площадки и лестницы внутри надбункерных помещений, в котельных и помещениях пылеприготовления следует, как правило, проектировать сквозными (из просечно-вытяжной стали или решетчатыми).

Площадки над выхлопными отверстиями взрывных предохранительных клапанов пылесистем, топки и газоходов, а также под мазутными форсунками должны быть сплошными.

12.2.11. Монтажные площадки в машинных и котельных отделениях следует располагать, как правило, на нулевой отметке.

Монтажная площадка на участке ремонта трансформаторов должна иметь бетонное ограждение высотой 150 мм, препятствующее растеканию трансформаторного масла, и маслосток для аварийного слива масла в подземный резервуар, расположенный вне здания. Емкость резервуара должна быть не менее объема масла в трансформаторе.

12.2.12. В многоэтажной части главного корпуса следует проектировать закрытую лестничную клетку у постоянного торца здания. В качестве второго эвакуационного выхода допускается предусматривать наружные лестницы 3-го типа в соответствии с требованиями СНиП 31-03-2001.

12.2.13. Если в проекте предусматривается последующее увеличение мощности ТЭС, конструктивные решения главного корпуса следует разрабатывать с учетом возможности его дальнейшего расширения.

12.2.14. Полы помещений котельного и машинного отделений на нулевой отметке должны иметь уклон в сторону каналов гидрозолоудаления или лотков. Величину уклона пола следует назначать не менее 1%.

Все проемы (отверстия) в перекрытиях подвала турбинного отделения и междуэтажных перекрытиях следует ограждать бортиками высотой не менее 0,1 м.

Участки полов других помещений, расположенных выше отметки первого этажа, на которых возможно появление производственных случайных вод, следует проектировать с уклоном 0,5% в сторону расположения стоков.

12.2.15. В перекрытиях над помещениями щитов управления и распределительных устройств, расположенных внутри главного корпуса, а также в перекрытиях помещений с водяным пожаротушением надлежит предусматривать гидроизоляцию. При необходимости над гидроизоляцией следует устраивать защитную железобетонную плиту, рассчитанную на воздействие расположенного на ней оборудования. Уклон чистого пола этих перекрытий следует принимать не менее 0,5%.

12.2.16. Золошлаковые каналы должны проектироваться с износоустойчивой облицовкой и перекрытием в уровне пола. Конструкция перекрытия должна обеспечивать осмотр и очистку каналов.

12.2.17. В помещениях багерных насосов и гидроаппаратов должны быть предусмотрены дренажные приямки и каналы.

12.2.18. Ограждающие конструкции помещений щитов управления должны обеспечивать уровень звукового давления в них не превышающий 60 дБ в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц.

12.2.19. Для дежурного персонала щитов управления следует предусматривать комнату отдыха и санитарный узел.

12.2.20. Газоходы на участках от золоуловителей до дымовых труб следует выполнять наземными или надземными.



Температурно-осадочные швы в газоходах следует располагать на грани фундамента трубы и в местах примыкания к дымососам. Промежуточные температурные швы назначаются в зависимости от материала газоходов, их длины и конфигурации.

12.2.21. Выбор вида антикоррозионного покрытия газоходов производится в соответствии с указаниями СНиП 2.03.11-85 и ведомственных норм.

### **12.3. Помещения систем контроля и управления**

12.3.1. Помещения центрального, блочного, главного и группового щитов управления, а также помещения для средств вычислительной техники выполняются со звукоизоляцией, кондиционированием воздуха и, при необходимости, экранируются от воздействия электрических и магнитных полей. Из указанных помещений предусматриваются два эвакуационных выхода, оборудованных тамбурами, габариты одного из которых обеспечивают транспортировку щитовых устройств.

Со стороны машинного отделения в помещениях БЩУ и ГЩУ допускается выполнение витража с двойным остеклением.

12.3.2. Установки искусственного климата, предусматриваемые в помещениях БЩУ и ЦЩУ, предназначенных для постоянной работы оперативного персонала, должны отвечать санитарным нормам и обеспечивать съем тепловыделений от установленной в помещениях аппаратуры.

Необходимость кондиционирования воздуха в помещениях БЩУ, используемых для размещения технических средств АСУ ТП, определяется техническими условиями на эти технические средства.

12.3.3. На электростанциях, БЩУ которых располагаются в изолированных зданиях вне главного корпуса, средства вычислительной техники и программно-логического управления размещаются, как правило, в том же здании.

На электростанциях, БЩУ которых располагаются в главном корпусе, средства вычислительной техники и программно-логического управления размещаются в специальном помещении, оборудуемом с учетом требований ТУ на аппаратуру.

Средства вычислительной техники общестанционного (верхнего) уровня размещаются, как правило, в помещениях вблизи ЦЩУ.

Помещения СВТ допускается размещать на любой отметке здания кроме подвала.

12.3.4. Площади помещений БЩУ и ГрЩУ, а также помещений СВТ предусматриваются с учетом запаса площади до 20% на случай расширения, модернизации и реконструкции.

12.3.5. Высота помещений БЩУ и ГрЩУ должна приниматься не менее 4 м в свету. Интерьер щита выполняется по специальному проекту, входящему в архитектурно-строительную часть проекта ТЭС.

12.3.6. Вблизи помещений БЩУ/ГрЩУ предусматриваются помещения для сменного персонала с кладовой для хранения оперативного запаса инструментов, контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, комнаты отдыха, приема пищи и санузел.

12.3.7. В случае создания вне БЩУ отдельных обособленных изолированных помещений для размещения аппаратуры и установок управления, в них должна предусматриваться вентиляция, а при обосновании - кондиционирование воздуха.

12.3.8. Помещения БЩУ и ЦЩУ должны выполняться со звукоизоляцией. Уровень шумов от внешних источников (механизмов, трубопроводов и т.п.) не должен превышать 55 дБ в диапазоне частот от 16 до 20000 Гц.

Перекрытия должны выполняться с гидроизоляцией.

### **12.4. Здания и сооружения топливного и масляного хозяйства**

12.4.1. При проектировании зданий и сооружений хозяйства жидкого топлива (мазута, дизельного топлива, нефти) следует руководствоваться СНиП 2.11.03-93, а

при проектировании сооружений газового хозяйства ТЭС (пункты газораспределительные и подготовки газа) – ПБ-12-529-03 и настоящими нормами.

При проектировании топливоподачи твердого топлива (угля и торфа) следует также руководствоваться РД 153-34.0-49.101-2003.

12.4.2. Степень огнестойкости зданий дробильных и разгрузочных устройств и узлов пересыпки основного тракта топливоподачи твердого топлива следует принимать не ниже III по СНиП 21-01-97\*.

Несущие и ограждающие конструкции размораживающих устройств, надземных галерей конвейеров, надземных узлов пересыпки подачи топлива на угольный склад следует проектировать из негорючих материалов с пределом огнестойкости не менее R 15.

Внутренние поверхности помещений топливоподачи следует проектировать в соответствии п. 12.2.4 настоящих норм.

12.4.3. Надземные конвейерные галереи, кроме неотапливаемых, должны располагаться над несущими конструкциями эстакады и отделяться от них перекрытиями из негорючих материалов с пределом огнестойкости не менее REI 45.

12.4.4. В надземной части зданий и сооружений топливоподачи (дробильных устройствах, узлах пересыпки, галереях конвейеров, разгрузочных устройствах) следует предусматривать оконные проемы с остеклением площадью не менее  $0,03 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  объема каждого помещения. Площадь листа стекла и его толщину следует принимать по СНиП 31-03-2001.

Вместо окон в этих помещениях допускается предусматривать фонари или лег-косбрасываемые покрытия такой же площади, как и остекление.

12.4.5. Оконные переплеты в зданиях и сооружениях топливоподачи следует, как правило, проектировать металлическими.

Допускается применять деревянные переплеты с огнезащитной обработкой (пропиткой).

Переплеты следует располагать в одной плоскости с внутренней поверхностью стен.

12.4.6. Надземная часть разгрузочных устройств с непрерывным движением вагонов проектируется неотапливаемой, а подземная - отапливаемой.

В сооружениях для разгрузки топлива следует предусматривать механически открывающиеся ворота.

12.4.7. Размораживающие устройства не допускается блокировать с другими зданиями.

12.4.8. Выходы из производственных помещений зданий топливоподачи твердого топлива в лестничную клетку, а также в соседние производственные помещения должны предусматриваться через тамбур-шлюзы размерами не менее  $1,2 \times 1,5 \text{ м}$  с постоянным подпором воздуха  $20 \text{ Па}$  ( $2 \text{ кгс/м}^2$ ).

Перегородки и двери тамбур-шлюзов следует проектировать из негорючих материалов с пределом огнестойкости не менее соответственно REI 45 и EI 30. Двери должны иметь уплотнения в притворах и приспособления для самозакрывания.

12.4.9. Не допускается устраивать выходы из производственных помещений топливоподачи в помещения распределительных устройств и щитов управления.

Не допускается размещать распределительные устройства в зданиях разгрузочных устройств для фрезерного торфа.

12.4.10. В отапливаемых помещениях дробильных и разгрузочных устройств, узлов пересыпки, надземных и подземных галерей конвейеров должна предусматриваться гидроуборка. В полах перечисленных помещений должны быть запроектированы лотки и/или приямки. Полы должны быть гладкими и иметь уклоны к лоткам и приямкам для стока.

Надземные и подземные галереи конвейеров должны проектироваться с

уклоном полов в продольном направлении не менее 3%.

12.4.11. Несущие конструкции пролетных строений галерей следует проектировать на собственных опорах без опирания на каркас и ограждающие конструкции зданий.

12.4.12. Покрытия площадки под открытые склады топлива должны быть выполнены:

- укаткой поверхности со снятием растительного слоя при песках гравелистых, крупных и средней крупности - плотных, супесях твердых, суглинках и глинах твердых и полутвердых;
- укаткой по слою шлака толщиной 15 см при песках гравелистых и крупных - средней плотности, суглинках и глинах тугопластичных;
- укаткой по слою глины со шлаком толщиной 15 см при песках средней крупности - средней плотности, песках мелких - плотных и средней плотности, суглинках и глинах мягкопластичных;
- заменой грунта на глубину 40-50 см глиной со шлаком и укаткой поверхности при песках пылеватых - рыхлых, супесях пластичных, суглинках и глинах текучепластичных, песчаных с примесью растительных остатков, глинистых с примесью растительных остатков и слабозаторфованных.

При илах и среднезаторфованных грунтах замена грунта устанавливается в зависимости от их деформационных свойств и условий стока атмосферных вод с поверхности склада.

Грунты, содержащие органические вещества и колчеданы для основания под штабель непригодны.

Применение в качестве основания под штабель асфальта, бетона, булыжного основания или деревянного настила не допускается.

12.4.13. Опоры галерей конвейеров допускается размещать в пределах штабелей угля при условии выполнения опор или их защиты из материалов, выдерживающих воздействие высоких температур от самовозгорания угля. Расчетные температуры от самовозгорания угля следует принимать по технологическому заданию.

В штабелях антрацита защиту опор галерей допускается не предусматривать.

12.4.14. Здания расходных (буферных) складов твердого топлива проектируются закрытыми из негорючих материалов. Степень огнестойкости здания должна быть не ниже II.

12.4.15. Приемно-сливные лотки для мазута должны проектироваться закрытыми со съёмным покрытием. Участки покрытия в местах слива мазута должны быть открывающимися с предохранительной решеткой под ними. По обеим сторонам приемно-сливных лотков выполняются бетонные отмостки шириной до 5 м от оси железнодорожного пути с уклоном в сторону лотков. Уклоны лотков следует принимать не менее 1%.

12.4.16. Двери в зданиях и помещениях топливных насосных и маслоаппаратных должны иметь предел огнестойкости не менее EI30. Внутренние двери должны открываться в обе стороны, а двери в наружных стенах - наружу.

12.4.17. При размещении в одном здании помещений насосной растопочного мазутохозяйства или дизельного топлива и аппаратной маслохозяйства они должны разделяться противопожарной перегородкой 1-го типа по СНиП 21-01-97\*.

12.4.18. Полы в помещениях масляных и топливных хозяйств следует проектировать из негорючих материалов, стойких к воздействию нефтепродуктов, с уклонами не менее 0,5% к приямкам для сбора нефтепродуктов.

12.4.19. Эстакады обслуживания цистерн с дизельным топливом и для обслуживания парового разогревательного устройства на уровне верха цистерн с мазутом проектируются из негорючих материалов и должны иметь лестницы для выхода в торцах и не реже чем через 100 м по всей длине эстакады.

## **12.5. Здания и сооружения электрической части**

12.5.1. Ширина и высота проходов, а также количество и расположение выходов из зданий и помещений распределительных устройств должны соответствовать требованиям Правил устройства электроустановок (ПУЭ).

12.5.2. Покрытие полов в помещениях закрытых распределительных устройств (ЗРУ) следует проектировать из непылящих материалов.

12.5.3. Короба кабельные блочные (металлические) заводского изготовления внутри зданий допускается крепить к строительным конструкциям, а вне зданий - располагать на эстакадах технологических трубопроводов, включая трубопроводы жидкого топлива, газо- и маслопроводов, на эстакадах топливоподачи или на специальных кабельных эстакадах.

Крепление указанных коробов должно осуществляться на расстоянии 1 м от несущих стальных конструкций зданий и эстакад (за исключением кабельных).

12.5.4. Конструкции кабельных помещений и сооружений (колонны, стены, перегородки, перекрытия и покрытия) должны выполняться из негорючих материалов и иметь предел огнестойкости не менее REI 45.

Подвесные кабельные сооружения в границах одного энергоблока допускается выполнять из негорючих материалов с пределом огнестойкости не менее R 15. В таких сооружениях не допускается прокладка маслонаполненных кабелей.

12.5.5. Кабельные сооружения различных энергоблоков, включая помещения под блочными щитами, а также места входов кабелей в помещения под блочными щитами должны разделяться противопожарными перегородками 1-го типа по СНиП 21-01-97\*. В кабельных этажах центрального щита управления, главного щита управления и релейного щита на ОРУ указанные перегородки не требуются.

Высота кабельного этажа или туннеля от пола до низа выступающих конструкций перекрытия или кабельных коммуникаций должна быть не менее 1,8 м.

12.5.6. Двойные полы в распределительных устройствах и производственных помещениях должны перекрываться съемными плитами из негорючих материалов.

12.5.7. Кабельные шахты следует отделять от кабельных этажей, туннелей и других кабельных помещений противопожарными перекрытиями 3-го типа и перегородками 1-го типа по СНиП 21-01-97\*.

12.5.8. В местах входа кабелей в помещения ЗРУ, щитов управления и релейных щитов на ОРУ должны предусматриваться противопожарные перегородки 1-го типа по СНиП 21-01-97\*. Все отверстия в перегородках после прокладки кабелей должны уплотняться негорючими материалами.

12.5.9. Двери в кабельных сооружениях должны проектироваться с пределом огнестойкости не менее EI 30.

12.5.10. Подземные кабельные туннели должны иметь наружную гидроизоляцию по всему периметру, включая перекрытие, вне зависимости от наличия грунтовых вод. В днищах туннелей следует предусматривать уклоны не менее 0,5% в сторону приямков.

12.5.11. Вентиляционные шахты трансформаторных камер и кабельных туннелей надлежит проектировать неутепленными из негорючих материалов с люками и дверями.

12.5.12. На ОРУ кабели следует прокладывать в каналах, наземных лотках или на эстакадах.

Кабельные каналы и наземные лотки должны быть закрыты плитами из негорючих материалов. Плиты в местах проезда должны быть рассчитаны на нагрузку от механизмов.

## **12.6. Производственные здания и помещения подсобного назначения**

12.6.1. В помещениях водоподготовительных установок и складов реагентов следует предусматривать защиту от коррозии строительных конструкций,

непосредственно соприкасающихся с агрессивной средой (емкости для хранения реагентов, полы в помещениях, каналы и приямки для стока агрессивных вод).

Выбор материалов конструкций и антикоррозионной защиты следует производить в зависимости от характера воздействия и степени агрессивности среды в соответствии с указаниями главы СНиП 2.03.11-85.

12.6.2. В помещениях склада химреагентов следует предусматривать гидроуборку полов. Стоки от гидроуборки направлять на установку нейтрализации сбросных вод ВПУ.

12.6.3. Расходные склады сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) - серной и соляной кислот, аммиака и аммиачной воды, гидразина, хлора, размещаемые на промплощадке ТЭС, надлежит проектировать в соответствии со следующими требованиями:

- расходные склады СДЯВ, кроме складов хлора, надлежит размещать в отдельных помещениях химводоочистки и складов реагентов, в которых потребляется СДЯВ;

- расходные склады хлора емкостью более 2 т надлежит размещать в отдельно стоящих зданиях; допускается размещение расходного склада хлора емкостью до 2 т в отдельном помещении здания хлораторной установки;

- не допускается устройство расходных складов СДЯВ в подвалах зданий, а также совместное хранение в одном помещении СДЯВ, которые могут вступать в химическую реакцию между собой.

Склады СДЯВ следует располагать у наружных стен здания.

12.6.4. Емкости для хранения кислот, щелочей, аммиака и гидразина, а также расходные емкости этих реагентов следует располагать в железобетонных поддонах, имеющих соответствующее антикоррозионное покрытие и оборудованных приямками для сбора и откачки пролитых реагентов. Объем поддона должен быть рассчитан на разлив одной из установленных в нем емкостей реагентов наибольшей по объему.

## **12.7. Вспомогательные здания и помещения**

12.7.1. При проектировании вспомогательных зданий и помещений кроме основного эксплуатационного персонала ТЭС следует учитывать персонал, занятый на ремонтных и наладочных работах.

Расчет санитарно-технического оборудования (душевых сеток и умывальных кранов) следует производить в соответствии с указаниями СНиП 2.09.04-87\*, исходя из численности работающих в наибольшую смену с учетом групп производственных процессов.

12.7.2. В зданиях проходных помимо помещений охраны и бюро пропусков могут предусматриваться помещения для отдела кадров, отдела снабжения и других служб.

Все перечисленные помещения, кроме помещений охраны, должны быть доступны для посетителей ТЭС.

## **13 ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ**

### **13.1 Отопление, вентиляция, кондиционирование и обеспыливание воздуха**

13.1.1. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в зданиях и сооружениях ТЭС, а также системы обеспыливания воздуха тракта топливоподдачи следует проектировать в соответствии с требованиями действующих норм и правил.

13.1.2. Нормируемые метеорологические условия (температура, относительная влажность, скорость движения и чистота воздуха) в рабочей зоне помещений ТЭС следует принимать в соответствии с санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны и данными технологической части проекта.

Температуру воздуха в рабочей зоне главного корпуса следует принимать с учетом того, что помещения относятся к производству с полностью автоматизированным технологическим оборудованием, функционирующим без

присутствия людей (кроме дежурного персонала, находящегося в специальном помещении и выходящего в производственные помещения для осмотра и наладки оборудования не более двух часов непрерывно). Температура воздуха в верхней зоне и вне рабочих мест по технологическим требованиям не должна превышать 40°C.

13.1.3. В качестве теплоносителя для систем отопления и вентиляции следует применять, как правило, единый теплоноситель - перегретую воду.

Использование низкопотенциальной теплоты и других вторичных энергоресурсов допускается при экономическом обосновании.

13.1.4. Следует предусматривать присоединение системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий и сооружений ТЭС к коллекторам сетевой воды через центральный тепловой пункт, в котором осуществляется местное регулирование и учет отпущенной энергии.

Присоединение отдельных зданий, расположенных на территории электростанции, к выводам магистральных тепловых сетей не допускается.

13.1.5. Расчетную температуру наружного воздуха для холодного периода года при проектировании отопления и вентиляции в помещениях главного корпуса следует принимать по параметрам Б (средняя температура наиболее холодной пятидневки и энтальпия воздуха, соответствующая этой температуре и средней относительной влажности воздуха самого холодного месяца в 13 ч.).

В теплый период года для расчета вентиляции следует принимать температуру по параметрам А (средняя температура наиболее холодного периода и энтальпия воздуха, соответствующая этой температуре и средней относительной влажности воздуха самого холодного месяца в 13 ч.).

13.1.6. Системы отопления и вентиляции главного корпуса следует, как правило, проектировать самостоятельными для каждого энергоблока.

Тепловые и холодильные центры следует предусматривать для группы энергоблоков.

Системы кондиционирования воздуха допускается предусматривать общими для двух энергоблоков при наличии общего щита управления блоками.

13.1.7. На период монтажа или ремонта энергоблока в местах проведения монтажных или ремонтных работ в главном корпусе следует проектировать системы монтажного или дежурного отопления для поддержания температуры воздуха в рабочей зоне не ниже 12°C.

Для обеспечения защиты работающих на временных рабочих местах от возможного перегрева или охлаждения для создания требуемых параметров воздуха в местах проведения ремонтных, монтажных и регламентных работ следует предусматривать системы зонального охлаждения или обогрева.

13.1.8. Тепловая мощность монтажного и дежурного отопления каждого энергоблока должна рассчитываться на возмещение 100% потерь тепла наружными ограждениями и на подогрев наружного воздуха, поступающего в помещение за счет инфильтрации.

Для монтажного и дежурного отопления рекомендуется использовать штатные установки приточных вентиляционных систем.

13.1.9. Газовое отопление с поступлением продуктов сгорания газа в отапливаемое помещение допускается предусматривать при соответствующем обосновании только на период монтажа 1-го энергоблока.

13.1.10. Тепловую мощность источника теплоснабжения на собственные нужды следует определять как суммарную потребность в тепле на отопление, вентиляцию, кондиционирование, горячее водоснабжение главного корпуса и вспомогательных зданий.

13.1.11. У ворот главного корпуса и в других зданиях ТЭС следует предусматривать устройство тепловоздушных завес в соответствии с требованиями

нормативных документов.

13.1.12. В главном корпусе следует предусматривать многозональные системы общеобменной вентиляции с механическим или естественным побуждением в зависимости от принятой схемы вентиляции и периода года.

13.1.13. Расход приточного воздуха в котельном отделении с котлами, работающими на газообразном топливе, а также в машинном отделении с газотурбинными установками следует принимать в соответствии с расчетом, но не менее 3 кратного воздухообмена в час в пределах ячейки каждого энергоблока. При этом система организации воздухообмена должна исключать возможность застоя и скопления газов в отдельных зонах помещения.

При определении воздухообменов по указанным кратностям в расчетных внутренних объемах помещений или зонах следует принимать следующие высоты:

- фактическую, если высота помещений или зоны от 4 до 6 м;
- 6 м, если высота помещения или зоны более 6 м;
- 4 м если высота помещений или зоны менее 4 м. При наличии площадок их площадь следует учитывать как площадь пола с указанными выше высотами.

13.1.14. Для обеспечения по технологическим требованиям температуры воздуха в верхней зоне котельного отделения не более 40°C рекомендуется предусматривать приток наружного воздуха с механическим побуждением не подогретого или с рециркуляцией внутреннего в зимний период года.

13.1.15. Для более эффективной локализации теплоступлений от котла (конвективного потока), а также для уменьшения загазованности и запыленности помещения рекомендуется предусматривать удаление воздуха из котельного отделения дутьевыми вентиляторами с помощью кольцевых (поясных) отсосов при помощи воздухопроводов равномерного всасывания, расположенных у вертикальной (верхней и средней зонах) поверхности котла. Устройство поясных отсосов является неотъемлемой частью котла, поэтому размещение и конструкцию поясных отсосов следует определять в технологической части проекта при согласовании с заводом-изготовителем котла.

13.1.16. Количество воздуха, забираемого дутьевыми вентиляторами из котельного отделения, следует предусматривать:

- в теплый период года – в размере рабочей производительности дутьевых вентиляторов с учетом возможного падения энергетической нагрузки котлов;
- в холодный период года – в объеме согласно тепловоздушному балансу, при котором не должно быть переохлаждения нижней зоны главного корпуса.

Соотношение количества забираемого воздуха из помещения и снаружи рекомендуется регулировать автоматически клапаном переключения в соответствии с тепловоздушным балансом.

13.1.17. Для уменьшения количества воздуха, подаваемого системами механической вентиляции в теплый период года целесообразно предусматривать охлаждение приточного воздуха.

13.1.18. В зоны, удаленные на 30 метров от наружных стен, следует, как правило, предусматривать приток воздуха с помощью систем с искусственным побуждением.

13.1.19. Для главных корпусов с установкой котлов большой высоты (производительности) допускается предусматривать системы с приточной естественной вентиляцией в зимнее время с установкой калориферов на просос.

13.1.20. С целью повышения надежности работы и экономичности тепловозду-хоснабжения необходимо предусматривать на ТЭС системы контроля и автоматического поддержания требуемых параметров воздушной среды, для чего следует создавать службы эксплуатации отопительно-вентиляционных систем.

13.1.21. В покрытии машинного отделения над каждым генератором с

водородным охлаждением необходимо устанавливать дефлектор диаметром не менее 300 мм.

13.1.22. В помещениях щитов управления и ИВК следует предусматривать кондиционирование воздуха с рециркуляцией и обязательным подпором воздуха не менее 20 Па.

Системы кондиционирования воздуха должны обеспечивать в помещениях щитов управления метеорологические условия (оптимальную температуру, относительную влажность и скорость движения воздуха) в соответствии с технологическими требованиями и санитарно-гигиеническими требованиями к воздуху рабочей зоны.

13.1.23. Для помещений релейной защиты и сигнализации, главного центрального щита управления, расположенных у наружных стен, рекомендуется предусматривать систему водяного отопления. В качестве нагревательных приборов следует принимать регистры из гладких труб. Запорно-регулирующая арматура должна быть вынесена за пределы помещения.

Допускается предусматривать систему воздушного отопления, совмещенную с приточной вентиляцией.

13.1.24. Помещения распределительных устройств собственных нужд ТЭС, преобразовательных агрегатов, кабельных этажей и кабельных тоннелей, проходящих внутри и вне зданий, должны быть оснащены приточно-вытяжной вентиляцией с естественным или искусственным побуждением в соответствии с требованиями СНиП и ПУЭ.

13.1.25. Помещения аккумуляторных батарей, в которых производится заряд, контрольный перезаряд или формовка аккумуляторов, должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию, обеспечивающую содержание в воздухе этих помещений аэрозолей серной кислоты в пределах  $2 \text{ мг/м}^3$  и водорода в пределах взрывобезопасной концентрации (но не более 0,7% по объему).

13.1.25.1. Кроме механической вентиляции для помещений аккумуляторных батарей должна быть выполнена естественная вытяжная вентиляция, обеспечивающая не менее однократного воздухообмена в час.

13.1.25.2. Для возможного снижения категории помещений аккумуляторных батарей следует учитывать работу аварийной вентиляции в соответствии с требованиями нормативных документов. В качестве аварийной вентиляции может быть использована система общеобменной вентиляции с механическим побуждением и с установкой резервного вентилятора, устройства АВР и подачи электропитания по I категории в соответствии с ПУЭ.

13.1.26. В помещениях экспресс-лабораторий необходимо предусматривать самостоятельные системы общеобменной вентиляции и местных отсосов воздуха от оборудования.

13.1.27. Помещения топливоподачи должны быть оснащены отоплением и вентиляцией. Внутреннюю температуру и влажность воздуха в помещениях следует принимать по технологическим заданиям.

13.1.27.1. В помещениях топливоподачи следует, как правило, предусматривать водяные системы отопления с установкой в качестве нагревательных приборов гладких труб или воздушные системы.

Температура на поверхности нагревательных приборов не должна превышать:

- для угля -  $130^\circ\text{C}$ ;
- для торфа -  $110^\circ\text{C}$ .

В помещениях надземной части разгрузочных устройств с вагоноопрокидывателями безъемкостного типа отопление предусматривать не следует. Кабина машиниста должна быть оборудована отоплением и вентиляцией.

13.1.27.2. Использование электронагревателей для отопления производственных



помещений топливоподачи запрещается.

Прокладка транзитных трубопроводов отопления в трактах топливоподачи не допускается.

13.1.28. В узлах пересыпки, помещениях дробильных устройств, бункерной галерее главного корпуса следует предусматривать обеспыливание (аспирацию, гидро-парообеспыливание, пылеподавление с использованием высокократной механической пены) в соответствии с требованиями технологической части проекта.

13.1.29. В узлах пересыпки на натяжных станциях конвейеров для предотвращения вторичного пыления рекомендуется применять системы гидрообеспыливания.

13.1.30. Для повышения смачиваемости тонкодисперсных и трудносмачиваемых углей следует применять специальные поверхностно-активные вещества.

13.1.31. Воздух, удаляемый аспирационными установками, перед выбросом в атмосферу должен подвергаться очистке от пыли.

13.1.32. Вентиляционные установки аспирационных систем в помещении топливоподачи категории В, следует принимать пылевые с электродвигателями в пыленепроницаемом исполнении, а при обеспыливании взрывоопасных углей - пылевые вентиляторы с взрывозащищенными электродвигателями со степенью защиты корпуса двигателя и коробки выводов не менее IP54.

13.1.33. Воздух, удаляемый аспирационными установками, должен возмещаться приточным воздухом, подогретым в холодный период года.

Очистку наружного воздуха от пыли предусматривать в соответствии с требованиями нормативных документов.

Неорганизованный приток воздуха в холодный период года допускается в объеме не более однократного воздухообмена в час.

13.1.34. Подачу воздуха следует производить в верхнюю зону помещений с малыми скоростями выхода воздуха.

13.1.35. Давление воды и воздуха в точках отбора для установок обеспыливания и гидрооборки должно быть не менее  $5 \text{ кгс/см}^2$ .

13.1.36. Надземная часть разгрузочных устройств с вагоноопрокидывателями всех типов должна иметь обеспыливающую вытяжную вентиляцию (аспирацию).

13.1.37. Аспирационные установки следует проектировать отдельно для каждой нитки конвейеров с минимальной протяженностью воздуховодов.

13.1.38. Все отопительно-вентиляционные системы зданий ТЭС должны быть обеспечены необходимой блокировкой и автоматикой, а также контрольно-измерительными приборами.

13.1.39. При устройстве дымоудаления из помещений ТЭС надлежит руководствоваться требованиями нормативных документов.

## **13.2. Водоснабжение и канализация 13.2.1. Системы водоснабжения**

13.2.1.1. Проектирование систем наружного и внутреннего водоснабжения промплощадок и стройбаз ТЭС производится в соответствии с требованиями действующих нормативных документов и настоящих правил.

13.2.1.2. Проектирование водопроводных сетей и сооружений для новых ТЭС следует вести с учетом роста водопотребления при перспективном расширении электростанции и стройбазы.

13.2.1.3. При проектировании новых, расширяемых и реконструируемых ТЭС, как правило, следует предусматривать отдельные системы хозяйственно-питьевого и производственно-противопожарного водоснабжения.

13.2.1.4. Насосы системы хозяйственно-питьевого водоснабжения для промплощадок и стройбаз следует размещать в соответствии с требованиями действующих НТД.

Насосы системы производственно-противопожарного водоснабжения, как правило, следует размещать в циркуляционных (блочной или центральной) насосных станциях.

При установке противопожарных насосов необходимо предусматривать мероприятия, обеспечивающие их работоспособность в аварийных ситуациях на насосной станции в соответствии с действующими директивными документами.

Подвод воды к противопожарным насосам следует проектировать от разных (нескольких) камер водоприемника.

13.2.1.5. Для главных корпусов ТЭС объемом более 800 тыс.м<sup>3</sup> расход воды на наружное пожаротушение следует принимать 100 л/сек. При определении расчетных расходов воды на пожаротушение подача воды передвижной пожарной техникой не учитывается.

13.2.1.6. Для ОРУ следует предусматривать наружный противопожарный водопровод, как правило, объединенный с производственно-противопожарным водопроводом промплощадки.

13.2.1.7. Подачу воды на пожаротушение кровель главных корпусов, расположенных на высоте более 70 м, следует предусматривать по сухотрубам от внутренней сети производственно-противопожарного водопровода.

При недостаточном напоре в наружной сети для обеспечения внутреннего пожаротушения главного корпуса следует устанавливать стационарные насосы для повышения давления. Помещения для установки насосов-повысителей должны соответствовать требованиям действующих НТД.

Расстановку сухотрубов с пожарными кранами и выбор насосов повышения давления следует производить из расчета одновременной работы двух пожарных кранов, установленных на разных стояках, и орошения каждой точки кровли двумя струями с расходом по 5 л/сек каждая. Сухотрубы, выведенные на кровлю, следует оборудовать пожарными вентилями с соединительными напорными головками-заглушками. При этом допускается предусматривать устройства для присоединения к сухотрубам передвижной пожарной техники.

13.2.1.8. Установку лафетных стволов для охлаждения ферм кровельного покрытия машинного отделения следует предусматривать в случае отсутствия на указанных фермах огнезащитного покрытия.

Лафетные стволы для охлаждения ферм следует устанавливать стационарно на отметках площадок обслуживания турбин.

При выборе лафетных стволов предпочтение следует отдавать изделиям (ассо-цилирующим, роботизированным, программируемым, дистанционно управляемым и т.д.), обеспечивающим минимальное пребывание обслуживающего персонала станции в зоне пожара.

13.2.1.9 Для тушения пожаров в помещениях (сооружениях) и на оборудовании ТЭС должны быть предусмотрены пожарные краны. Расстановку пожарных кранов и лафетных стволов следует исходя из условия орошения каждой точки конструкции двумя струями.

13.2.1.10 Для снижения давления воды перед пожарными кранами и лафетными стволами до допустимых нормативных значений следует предусматривать установку на фланцевых соединениях запорной арматуры специальных шайб, снижающих давление.

Использование для этих целей самой запорной арматуры не допускается.

13.2.1.11 В помещениях топливоподдачи установку пожарных кранов следует предусматривать, как правило, в нишах, закрываемых дверцами заподлицо со стеной. Допускается устанавливать пожарные краны в настенных шкафах, верхняя крышка которых должна иметь уклон от стены вниз под углом 60° к горизонтали.

Шкафы для пожарных кранов в помещениях топливоподдачи должны

выполняться из негорючих материалов.

13.2.1.12 Запорную арматуру дренчерных завес помещений топливopодачи следует размещать в доступных и безопасных при пожаре местах (на лестничных площадках первого этажа, в отдельных помещениях, имеющих выход в коридор, тамбур или на лестничную клетку).

Управление запорной арматурой дренчерных завес следует предусматривать со щита управления топливopодачи и по месту ее установки.

13.2.1.13 В северной строительно-климатической зоне для подачи воды на наружное пожаротушение вместо пожарных гидрантов допускается предусматривать установку пожарных кранов диаметром 77 мм в теплых помещениях у выходов из зданий или в специальных утепленных нишах.

### **13.2.2. Системы канализации**

13.2.2.1. Проектирование систем наружной и внутренней канализации с необходимыми сетями и сооружениями для промплощадок и стройбаз ТЭС производится в соответствии с требованиями действующих нормативных документов и настоящих правил.

Проектирование сооружений канализации производственных сточных вод ТЭС выполняется в соответствии с ведомственными нормативными документами по проектированию обработки и очистки производственных сточных вод тепловых электростанций.

13.2.2.2. При проектировании новых, расширяемых и реконструируемых ТЭС, следует предусматривать следующие системы канализации:

- канализацию хозяйственно-бытовых стоков;
- канализацию условно чистых производственных вод;
- канализацию ливневых (дождевых) стоков;
- канализацию стоков, загрязненных нефтепродуктами;
- канализацию минерализованных вод.

13.2.2.3. Сточные воды, загрязненные нефтепродуктами должны очищаться и повторно использоваться в цикле станции. Сброс очищенных стоков в водоемы допускается при соответствующем обосновании.

13.2.2.4. Нефтепродукты, полученные после очистки нефтесодержащих стоков, следует направлять для повторного использования.

13.2.2.5. Следует предусматривать приборный контроль за составом и расходом сточных вод, сбрасываемых в водоемы.

### **13.3. Электрическое освещение**

13.3.1. Проектирование электрического освещения зданий и сооружений тепловых электростанций должно выполняться в соответствии с требованиями главы СНиП 23-05 «Естественное и искусственное освещение», Правил устройства электроустановок (ПУЭ), главы СНиП 3.05.06 «Электротехнические устройства», нормативных документов по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий, а также комплекса инженерно-технических средств охраны на объектах электроэнергетики.

13.3.2. Уровни освещенности помещений тепловых электростанций и открытых участков территории следует принимать в соответствии с требованиями главы СНиП 23-05 «Естественное и искусственное освещение».

13.3.3. В проектах электроосвещения следует рассматривать технико-экономическую целесообразность использования различных типов ламп.

13.3.4. В соответствии со СНиП 23-05 для помещений тепловых электростанций следует выполнять два вида аварийного освещения: безопасности и эвакуационное.

Для аварийного освещения безопасности светильники должны выделяться из числа светильников общего освещения и подключаться к сети аварийного освещения. Кроме того, для продолжения работ в случае аварии с потерей переменного тока

следует выполнять местное аварийное освещение с установкой светильников на важнейших рабочих местах (щитов управления турбин, котлов, насосов, водо- и масло-мерных стекол, подшипников турбогенераторов, тахометров турбин и т.д.), подключенных к сети аварийного освещения.

Для аварийного освещения, обеспечивающего возможность эвакуации персонала, следует использовать светильники как общего аварийного освещения безопасности, так и специально устанавливаемые светильники обеспечивающие освещение путей эвакуации.

13.3.5. Питание сети аварийного освещения в главном корпусе при нормальном режиме работы электростанции следует предусматривать от сети переменного тока с автоматическим переключением этой сети на независимый источник питания (аккумуляторную батарею, дизель-генератор и т.п.) при исчезновении питания от основного источника.

Для помещений вспомогательных зданий и сооружений сеть аварийного и эвакуационного освещения присоединяется к источнику питания, независимому от источника питания рабочего освещения.

13.3.6. Напряжение в осветительной сети следует принимать 380/220 В с глухо-заземленной нейтралью. Напряжение источников света - 220 В.

Напряжение сети освещения с лампами накаливания всех теплофикационных туннелей, а также кабельных туннелей высотой менее 2,5 м не должно превышать 42 В.

13.3.7. Во всех зданиях и сооружениях следует предусматривать стационарную сеть штепсельных розеток на напряжение 12 В.

Допускается принимать напряжение 220 В для ламп местного аварийного освещения при установке специальных светильников, удовлетворяющих требованиям ПУЭ.

## **14 ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ**

14.1. Оборудование зданий и сооружений автоматическими установками обнаружения и тушения пожара следует предусматривать в соответствии с отраслевыми перечнями зданий, помещений и сооружений, подлежащих оборудованию автоматическими установками обнаружения и тушения пожара, согласованными и утвержденными в установленном порядке, а также в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

14.2. Сигнал о пожаре от установок автоматического обнаружения и тушения пожара, размещенных в контролируемых ими помещениях, выносится на БЩУ.

Сигнал о пожаре от установок автоматического обнаружения и тушения пожара, размещенных в общестанционных помещениях и ОРУ, выносится на ЦЩУ (ГЩУ).

Из вспомогательных зданий и сооружений ТЭС сигнал о срабатывании пожар-но-охранной сигнализации выносится в помещение охраны (с постоянным пребыванием караула).

На ЦЩУ (ГЩУ) также выносится общий сигнал «Пожар на блоке № ...» и предусматривается прямая телефонная связь с пожарным депо, обслуживающим объект.

14.3. Автоматический пуск установки пожаротушения должен дублироваться дистанционным включением (отключением) дежурным персоналом со щитов управления (БЩУ, ЦЩУ, ГЩУ), а также по месту установки запорной арматуры и насосов.

Панели (шкафы) управления установками пожаротушения и пожарной сигнализации допускается устанавливать в помещениях неоперативного контура. При этом в оперативный контур необходимо выносить на табло сигналы: «НЕИСПРАВНОСТЬ», «ВНИМАНИЕ», «ПОЖАР», а также предусматривать звуковой сигнал вызова персонала к стойке АСПТ.

Схема организации сигналов на табло в оперативном контуре щита управления и используемая для этой цели аппаратура должны быть аналогичны применяемой на данном щите.

14.4. Дистанционное управление установками пожаротушения, расположенными в пределах блока (открытие и закрытие запорно-пусковой арматуры), выносится на БЩУ. При этом на БЩУ предусматривается сигнализация положения арматуры.

Дистанционное управление установками пожаротушения общестанционных зданий и сооружений выносится на ЦЩУ (ГЩУ). На ЦЩУ (ГЩУ) также предусматривается сигнализация положения арматуры.

На мазутном хозяйстве, топливоподачи и т.п. допускается предусматривать управление установками пожаротушения (насосами, запорно-пусковой арматурой установок автоматического пожаротушения) с местных щитов управления, при наличии на них постоянного дежурного персонала, с выводом информационного сигнала «ПОЖАР НА ...» в помещение ЦЩУ, ГЩУ.

14.5. Для общестанционных пожарных насосов следует предусматривать дистанционное управление (включение и отключение, выбор рабочего насоса) с ЦЩУ (ГЩУ), а также включение и отключение по месту.

Включение насосов следует предусматривать также:

- с других щитов, где имеется дистанционное управление установками пожаротушения;
- с мест размещения запорной арматуры установок пожаротушения;
- от пожарных кранов и лафетных стволов, не обеспеченных постоянным напором.

На ЦЩУ (ГЩУ) следует предусматривать сигнализацию о включении пожарных насосов.

14.6. Алгоритм работы автоматических установок пожаротушения выполняется в соответствии с требованиями действующими нормативными документами.

14.7. Маслосборник трансформаторов должен оборудоваться сигнализацией наличия в нем жидкости с выводом сигнала на щит управления (ЦЩУ, БЩУ).

14.8. Для трансформаторов (автотрансформаторов, реакторов,) маслобаков турбоагрегатов и питательных насосов в качестве огнетушащего средства следует применять распыленную воду с интенсивностью орошения 0,2 л/с на 1 м<sup>2</sup> защищаемой поверхности

Для трансформаторов дополнительно орошаются высоковольтные вводы, маслоохладители и гравийная засыпка в пределах бортовых ограждений.

14.9. Тушение кабельных сооружений выполняется в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

14.10. Расчетное время тушения пожара трансформаторов и маслобаков распыленной водой с помощью стационарных установок пожаротушения следует принимать равным 10 минутам.

Запас воды следует принимать из условия обеспечения трехкратного расхода ее на один пожар.

14.11. Расход воды или пара на пожаротушение воздухоподогревателей котлов, сжигающих мазут в качестве основного или резервного топлива, следует принимать по техническим условиям на оборудование.

14.12. Подачу воды на пожаротушение конвективных шахт котла следует предусматривать из производственного водопровода, а для нужд пожаротушения РВП – 50% из производственного водопровода и 50% из системы обмывки РВП.

14.13. Расчетное время тушения пожара в воздухоподогревателях необходимо принимать равным 30 минутам.

Запас воды должен обеспечивать работу установки пожаротушения с расчетным

расходом воды в течение 45 минут.

14.14. На воздушных и газовых коробах РВП рекомендуется устанавливать дренажные трубы, отводящие воду при пожаротушении РВП с устройствами, препятствующими присосу воздуха через них в газоходы котла.

14.15. Пуск стационарных установок пожаротушения воздухоподогревателей должен предусматриваться вручную из мест удобных и безопасных при пожаре, расположенных, как правило, на основной отметке обслуживания котельного отделения.

14.16. Обнаружение пожара в воздухоподогревателях должно быть, как правило, автоматическим (по разности температур) с выводом сигнала на БЦУ.

14.17. Запорно-пусковые устройства (задвижки, клапаны и т.п.) установок автоматического пожаротушения рекомендуется группировать в узлы управления с учетом целесообразной длины питательного трубопровода и нормативной инерционности установок пожаротушения.

14.18. Узлы управления и запорно-пусковые устройства автоматического пожаротушения, размещаемые в производственных помещениях, должны устанавливаться в удобных для обслуживания и безопасных при пожаре местах, в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

14.19. Не допускается устройство узлов управления и отдельных запорно-пусковых устройств в подвалах и колодцах, которые при авариях могут быть заполнены водой или залиты нефтепродуктами, а также в помещениях, защищаемых установками пожаротушения.

14.20. При проектировании установок обнаружения и тушения пожара необходимо предусматривать возможность их ремонта и обслуживания в период эксплуатации.

Расстановка запорной арматуры для этих целей должна обеспечивать отключение одновременно не более трех запорно-пусковых устройств (направлений) без разделения кольца.

14.21. Для турбогенераторов и синхронных компенсаторов с воздушным охлаждением предусматривается подвод воды к установкам для тушения пожара внутри машины.

Включение установок пожаротушения следует предусматривать вручную путем соединения системы через пожарный рукав длиной 3-5 м.

Хранение пожарного рукава следует предусматривать в специальном металлическом ящике, к которому подводится пожарный водопровод. Ящики устанавливаются у каждого генератора (синхронного компенсатора) на основной отметке обслуживания.

14.22. В главном корпусе и других зданиях и сооружениях ТЭС следует предусматривать систему оповещения при пожаре, которая должна обеспечивать во всех помещениях, где могут находиться люди:

- трансляцию речевых сообщений;
- передачу звуковых сигналов и включение, в необходимых случаях, световых сигналов.

14.23. Звуковые и световые оповещатели должны устанавливаться с таким расчетом, чтобы транслируемые ими сигналы были видны или слышны во всех местах возможного пребывания персонала. Оповещатели должны устанавливаться без регуляторов громкости и яркости, а их присоединение к сети должно осуществляться без разъемов.

14.24. Система оповещения о пожаре должна функционировать в течение всего расчетного времени эвакуации.

14.25. Наружные стальные лестницы, размещаемые на фасадах главных корпусов, следует предусматривать на расстоянии не менее 20 м от мест размещения

трансформаторов или другого электротехнического оборудования, находящегося под высоким напряжением.

14.26. Для пожаротушения главного корпуса электростанции следует предусматривать у открытых каналов технического водоснабжения площадку на две пожарные автомашины, с планировочной отметкой, обеспечивающей возможность забора воды из канала с высотой всасывания не более 3,5 м или предусматривать возможность забора воды из колодцев закрытых каналов.

Места забора воды пожарными автомашинами следует размещать на расстоянии не более 100 м от торцов машинного отделения.

## **15 ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ.**

### **15.1 Организация труда**

15.1.1 Обслуживание оборудования ТЭС осуществляется эксплуатационным и ремонтным персоналом с использованием необходимых технических средств, производственных и технологических средств связи. Материальное обеспечение организации труда, включая оборудование рабочих мест, определяется в архитектурно-строительной, технологической, электротехнической и других частях проекта.

15.1.2 При разработке организации труда эксплуатационного персонала рекомендуется для непрерывно протекающих процессов 3-х сменный режим работы, для периодического обслуживания – односменный.

15.1.3 При разработке организации труда ремонтного персонала рекомендуется принимать одно- и частично (для неотчетственных работ) двухсменный режим работы. Для привлекаемого на период капитальных и средних ремонтов персонала сторонних организаций возможно использование третьей смены для выполнения вспомогательных работ, не требующих повышенного внимания и точности.

### **15.2 Система управления производством**

15.2.1 Система управления производством ТЭС принимается на основании рекомендуемых нормативными документами организационных структур управления и нормативов численности промышленно-производственного персонала ТЭС с учетом местных условий и степени централизации функции управления производством в энергосистеме, для которой создается проектируемая ТЭС.

15.2.2 В разрабатываемой организационной структуре управления проектируемой электростанции определяется состав, функции и подчиненность структурных подразделений, штатное расписание и численность промышленно-производственного и непромышленного (вспомогательного) персонала, а также общая численность работающих.

15.2.3 При разработке организационной структуры управления ТЭС, отличающейся от рекомендуемых нормативными документами, следует обеспечивать установленное соотношение между численностью руководителей, специалистов, служащих и рабочих, а также соответствие наименований должностей «Единому тарифно-квалификационному справочнику» и отраслевым квалификационным характеристикам руководителей и специалистов.

15.2.4 В разрабатываемой организации оперативного управления проектируемой ТЭС определяется расстановка, численность, функции и подчиненность оперативного персонала, а также количество рабочих мест. При этом материальной основой системы оперативного обслуживания и состава смен должны быть рабочие места, согласно проектным решениям соответствующих разделов проекта.

15.2.5 Численность персонала для ТЭС, проектируемых для районов Крайнего Севера и приравненных к ним, принимается в проекте с учетом поправочных

коэффициентов, принятых в установленном в РФ порядке.

15.2.6 В проекте должна быть определена максимальная численность одновременно работающих на ТЭС (максимальная смена) для определения потребности в производственных и санитарно-бытовых помещениях.

### **15.3 Организация и механизация ремонтных работ**

15.3.1 Разработка проектных решений по организации и механизации ремонта оборудования, зданий и сооружений проектируемой ТЭС выполняются на основе разработанных заводами-изготовителями технологий ремонта и с учетом рекомендуемых соответствующими нормативными документами периодичности, сроков и затрат на различные виды ремонтов, используемых средств механизации. Должны быть учтены данные Заказчика о согласовании возможности использования ремонтных и складских баз энергосистемы и сторонних организаций, их участия в ремонтном обслуживании проектируемой ТЭС, а также сервисного обслуживания оборудования заводами-изготовителями.

15.3.2 Компоновка главного корпуса должна обеспечивать соблюдение требований безопасной и безаварийной эксплуатации, эргономики, технического обслуживания основного и вспомогательного оборудования. Должны быть предусмотрены ремонтные площадки для размещения ремонтируемого оборудования и его элементов, трассы основных грузопотоков стационарными и инвентарными грузоподъемными средствами и централизованная электропроводка для ремонтных нужд.

Для транспортировки грузов в котельном отделении должен быть предусмотрен въезд в габаритах, обеспечивающих возможность безопасных погрузочно-разгрузочных работ посредством стационарных грузоподъемных механизмов. При размещении в главном корпусе 6 и более энергоблоков должен быть предусмотрен боковой въезд автотранспорта соединенный со сквозным автопроездом.

15.3.3 В здании котельного отделения предусматриваются ремонтные площадки в постоянном и временном торцах, а также после каждого четвертого котла дополнительные ремонтные площадки для котлов паропроизводительностью до 1600 т/ч и после каждого второго котла для котлов паропроизводительностью более 1600 т/ч.

Размеры и расположение ремонтных площадок должны определяться с учетом рекомендаций разработчика проекта котла. При этом допускается часть ремонтных площадок располагать в смежных с котельным отделением помещениях и на разных отметках здания.

15.3.4 Выбор грузоподъемности, типа и количества грузоподъемных средств и их размещение должны исходить из веса и габаритов наиболее тяжелых и объемных грузов (узлов, деталей), транспортируемых при ремонте и монтаже котельной установки.

15.3.5 На электростанциях с энергоблоками мощностью 500 МВт и более предусматривается по одному грузовому лифту на каждом котле и по одному пассажирскому лифту на два котла. Для энергоблоков меньшей мощности должно быть предусмотрено по одному грузовому лифту на два котла и по одному пассажирскому лифту на четыре котла. Для неблочных электростанций следует предусматривать один грузовой лифт и один пассажирский лифт на четыре котла.

15.3.6 Для обеспечения ремонта тягодутьевых машин, углеразмольных механизмов, транспортеров и питателей сырого угля предусматриваются стационарные, инвентарные или самоходные грузоподъемные средства, а также специальные приспособления и устройства, поставляемые или предусматриваемые заводами-изготовителями соответствующего оборудования.

Следует предусматривать свободное пространство и площадки для производства ремонтных и погрузо-разгрузочных работ, а при использовании



самоходных механизмов – возможность их подъезда к каждой единице оборудования и условия работы в зоне размещения последнего.

15.3.7 Для ремонта регенеративных воздухоподогревателей (РВП) предусматриваются, как правило, стационарные или инвентарные грузоподъемные средства, возможность подъезда автотранспорта, а также свободные площадки для замены и складирования нагревательной набивки.

Для ремонта или замены изношенных элементов РВП (подшипниковых опор, приводов, уплотнений и нагревательной набивки), не обслуживаемых основными кранами, должны предусматриваться монорельсы или переносные краны, обеспечивающие погрузку элементов на межцеховой транспорт.

15.3.8 На электрофильтрах предусматривается механизация ремонта и транспортных операций с учетом технических решений, принятых в проекте электрофильтров. В районе электрофильтров должна быть предусмотрена обслуживаемая самоходными кранами ремонтная площадка, расположение которой должно обеспечивать возможность установки и замены электродов.

При высоте электрофильтров более 20 м для подъема мелких грузов, обслуживания ремонтного или эксплуатационного персонала предусматривается грузопассажирский лифт, а для уборки мусора - мусоропровод. Допускается, как исключение, вместо установки лифта устройство перехода из главного корпуса к верхней зоне электрофильтра.

15.3.9 В турбинном отделении электростанции предусматривается тупиковый железнодорожный въезд, совмещенный с автовъездом, а также сквозной проезд автотранспорта или напольного транспорта, совмещенный с железнодорожным въездом и заездами на ремонтные площадки. Длина въезда должна обеспечить возможность разгрузки с железнодорожного транспорта и погрузки на него основными мостовыми кранами наиболее тяжелой и длинной сборочной единицы, транспортируемой при ремонте, а также статора генератора.

15.3.10 В турбинном отделении со стороны постоянного и временного торцов предусматриваются ремонтные площадки со сквозным проездом автотранспорта или напольного транспорта.

Через каждые четыре турбины предусматривается промежуточная ремонтная площадка.

15.3.11 В турбинном отделении предусматриваются:

- при одном турбоагрегате мощностью до 250/300 МВт установка одного основного мостового крана;

- при двух и более турбоагрегатов в общем машзале установка двух основных мостовых кранов. - для турбоагрегатов мощностью 250/300 МВт и выше - трех основных мостовых кранов при числе турбоагрегатов более шести.

15.3.12 Грузоподъемность каждого основного мостового крана турбинного отделения принимается из расчета подъема и перемещения наиболее тяжелой сборочной единицы при ремонте технологического оборудования. Монтаж и демонтаж статора генератора, как правило, производится основными мостовыми кранами.

Отметка подкрановых путей устанавливается из условия подъема и перемещения в период выполнения монтажных и ремонтных работ наиболее габаритной сборочной единицы.

В случае бескранового монтажа статора генератора должен разрабатываться специализированной организации специальный проект его монтажа и демонтажа.

Условия поставки необходимых для этого оснастки и оборудования определяются в задании на проектирование ТЭС.

15.3.13 Электротехническое, гидротехническое, тепломеханическое и другое основное и вспомогательное оборудование, расположенное в турбинном отделении, комплектуется с учетом обслуживания его (включая статор генератора) общими

мостовыми кранами или другими грузоподъемными средствами, которые должны обеспечить его монтаж, демонтаж и транспортировку без останова других турбоагрегатов.

15.3.14 Организация ремонта трансформаторов, ОРУ и другого электротехнического оборудования, komponуемого в специальных помещениях и объектах, устанавливается пунктами 8.6.8, 8.6.10, 8.6.13 настоящих норм.

15.3.15 Компоновка ВПУ должна предусматривать стационарные или инвентарные средства механизации ремонта и транспортировки оборудования, арматуры и трубопроводов, проезды электротележек между рядами фильтров шириной не менее 1,5 м и ремонтную площадку размером 30-40 м<sup>2</sup>.

15.3.16 Ремонт механизмов топливоподдачи должен предусматриваться, как правило, стационарными средствами. Для производства ремонтных работ должны предусматриваться соответствующие площадки и помещения.

Монтаж и замена ленты на каждом конвейере должны предусматриваться с помощью специальных устройств и механизмов.

На каждом конвейере должны предусматриваться специальные места выполнения стыков, оборудованные вулканизатором и средствами механизации, а также механизация замены роликоопор и их доставки на место установки.

15.3.17 Решение специфических вопросов организации и механизации ремонта при разработке проектных решений по генплану, транспорту, топливному и масляному хозяйству, теплоснабжению, АСУ ТП, гидротехнической и другим частям проекта определяется требованиями соответствующих глав и пунктов настоящих норм.

15.3.18 Для обеспечения оперативного руководства ремонтными работами в проекте должна предусматриваться возможность размещения в зонах производства ремонта инвентарных кабин руководящего персонала, оснащенных необходимыми средствами связи, имеющими выход на общестанционные сети.

15.3.19 Обеспечение ремонтных работ энергопитанием принимается в проекте ТЭС на основании требований действующих нормативных документов. При этом обязателен учет категории помещений по взрыво- и пожарной опасности, где намечается размещать централизованные разводки кислорода и горючих газов. Разводка кислорода и горючих газов не допускается в расчетном помещении в случае повышения категории взрыво- и пожарной опасности его сверх допустимой нормами.

15.3.20 На ремонтных площадках должны быть предусмотрены средства и устройства, обеспечивающие пожаро- и взрывобезопасность при выполнении ремонтных работ.

15.3.21 Ремонт электротехнического оборудования, входящего в комплект тепломеханического, гидротехнического и другого оборудования, предусматривается с использованием общих для соответствующего помещения (площадки) средств механизации. Ремонт трансформаторов, ОРУ и другого электротехнического оборудования, размещаемого в специальных помещениях и объектах, определяется в соответствующих разделах настоящих норм с учетом централизации ремонтного обслуживания в энергосистеме.

15.3.22 Состав, площадь и оснащенность ремонтных мастерских, лабораторий, складских помещений и площадок определяется в проекте на основании требований Заказчика и в соответствии с действующими нормативными документами.

15.3.23 В специализированном разделе проекта должны быть предусмотрены технико-экономические показатели ремонта (при наличии соответствующих нормативов) в следующем составе:

- структура проектируемого ремонтного цикла;
- продолжительность простоев в различных видах ремонтов;
- коэффициент технического использования;
- удельная численность ремонтного персонала, чел/МВт.

## **16 ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ 16.1 Охрана земель**

16.1.1 При разработке технико-экономических обоснований строительства, выбора площадок для размещения электрических станций, разработке проектов следует:

- использовать, как правило, земли несельскохозяйственного назначения и малопродуктивные угодья;
- для последующего использования земель предусматривать затраты на снятие и хранение плодородного слоя почвы, нанесение его на восстанавливаемые земли или малопродуктивные угодья взамен изымаемых;
- предусматривать возмещение убытков землепользователям при изъятии земельных участков;
- при выборе площадки ТЭС заполняется «Декларация о намерениях», которая является начальным документом по оценке воздействия на окружающую среду;
- при разработке обоснований инвестиций в строительство ТЭС выполняется раздел «Оценка воздействия на окружающую среду» (ОВОС);
- при разработке ТЭО на строительство ТЭС в его составе выполняется раздел «Охрана окружающей среды».

16.1.2 Площадь отводимых земельных участков для сооружения объектов электростанции должна использоваться рационально и определяться следующими условиями:

- максимальной блокировкой производственных зданий и сооружений;
- размещением вспомогательных служб и подсобных производств в многоэтажных зданиях;
- соблюдением нормативной плотности застройки в соответствии с требованиями нормативных документов по проектированию генеральных планов промышленных предприятий;
- с учетом необходимого резерва площадей для расширения ТЭС только в соответствии с заданием на проектирование и при соответствующем технико-экономическом обосновании;
- определением площади золоотвалов с учетом переработки и использования золы и шлака в народном хозяйстве.

16.1.3 Отвод земель следует производить очередями с учетом фактической потребности в них объектов строительства, возврата временно отводимых земель (карьеры, отвалы грунта и т.д.) землепользователями, а также проведения всех необходимых работ по рекультивации.

16.1.4 В составе проекта должен быть выполнен раздел по рекультивации земель, отведенных во временное пользование и улучшение малопродуктивных угодий. Проекты рекультивации выполняются с привлечением специализированных проектных организаций сельского, лесного и рыбного хозяйства. Проекты улучшения малопродуктивных угодий должны выполняться проектными институтами по землеустройству.

16.1.5 При размещении электростанций в развитых энергосистемах следует рассматривать возможность отказа от строительства или сокращения объема центральной ремонтной мастерской, материальных складов и ремонтно-строительного цеха на ТЭС, имея в виду централизованное обеспечение нужд электростанции.

16.1.6 При проектировании электростанций следует рассматривать возможность использования существующих строительных баз и укрупнительных площадок близ расположенных предприятий электроэнергетического комплекса.

16.1.7 Подъездные железные и автомобильные дороги, а также внешние инженерные коммуникации (трассы теплопроводов, линии электропередачи и связи, подводящие и отводящие каналы технического водоснабжения и т.п.), если они совпадают по направлению, следует, как правило, размещать в одной полосе отвода

земель и, по возможности, трассировать их, не нарушая существующих границ сельскохозяйственных угодий и полей севооборота.

16.1.8 Золоотвалы должны проектироваться с учетом их консервации или рекультивации после заполнения их золошлаками до проектной высоты.

## **16.2 Охрана атмосферы**

16.2.1 В проектах тепловых электростанций должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферного воздуха с учетом имеющегося фона не превышающие допустимые санитарные нормы.

При этом по доле предельно-допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу при работе электростанции, определяются величины предельно-допустимых выбросов (ПДВ). Показатели выбросов вредных веществ в дымовых газах котлов должны соответствовать нормативам удельных выбросов для котельных установок комплектуемых пылегазоочистным оборудованием в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

16.2.2 При установлении ПДВ определяется количество выбрасываемых веществ по каждому веществу отдельно с учетом значений ПДК для всей группы веществ, обладающих свойством суммации вредного действия.

ПДВ на ТЭС определяется для следующих веществ: окиси азота, двуокиси азота, сернистого ангидрида, золы твердого и жидкого топлива, окиси углерода, а также выбросов золы и угольной пыли при пылении складов.

Величины ПДК и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ принимаются в соответствии с гигиеническими нормами, устанавливающими предельно-допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

16.2.3 Расчет максимальной приземной концентрации вредных веществ ведется при режиме работы электростанции на полной ее электрической мощности и тепловой нагрузке, соответствующей средней температуре наиболее холодного месяца.

При расчете для летнего режима работы электростанции в случае установки на ней трех и более котлов учитывается остановка котлов в ремонт. Для ТЭЦ, работающей по тепловому графику, число работающих котлов в летний период определяется тепловыми нагрузками этого периода.

Расчет ведется из условий работы электростанции на основном топливе (работа на резервном топливе учитывается в случае его расхода более 5% от общего количества топлива в течение года).

Расчет годового уровня ПДВ ведется по среднему составу основного топлива.

16.2.4 При расчете концентрации вредных веществ для летнего режима температура атмосферного воздуха принимается средняя для самого жаркого месяца.

16.2.5 При расчете концентрации вредных веществ в атмосфере должен приниматься проектный КПД газоочистной установки.

16.2.6 Для обеспечения нормативов удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок и норм ПДК оксидов серы в случае необходимости следует предусматривать оснащение ТЭС, сжигающих твердое и жидкое топливо, установками улавливания диоксида серы.

Выполнения нормативов удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от проектируемой ТЭС и норм ПДК оксидов азота следует обеспечивать в первую очередь за счет подбора котельных установок, в которых в полном объеме реализованы технологические методы подавления образования оксидов азота.

При исчерпании возможностей технологических методов должно предусматриваться применение технологий ликвидации образовавшихся в топках

котлов оксидов азота посредством их разложения в специальных устройствах, встроенных в газовый тракт котла - газоочистных установках.

16.2.7 Источники выбросов должны оснащаться приборами контроля за выбросами вредных веществ в атмосферу в соответствии с действующими нормами и правилами организации контроля за выбросами в атмосферу на ТЭС и котельных.

16.2.8 При проектировании тепловых электрических станций должны быть предусмотрены меры против шумового воздействия в производственных помещениях и окружающей среде. Все оборудование (турбина, генераторы, редуцирующие установки, вспомогательное оборудование и др.) должно иметь звукоизоляцию, а выхлопные устройства предохранительных клапанов и других сбросных устройств - надежное шумоглушение. Уровни звука от оборудования должны соответствовать нормам.

16.2.9 Санитарно-защитную зону ТЭС необходимо устанавливать в соответствии с действующими нормативными документами (СанПиН).

### **16.3 Охрана водоемов**

16.3.1 Для защиты водного бассейна от загрязнения производственными сточными водами должны быть предусмотрены сооружения и установки, обеспечивающие требования санитарных и природоохранных норм, а также мероприятия по поддержанию температурного режима поверхностных вод в соответствии с действующими нормативами.

16.3.2 В производственных процессах тепловых электростанций образуются следующие сточные воды:

- систем охлаждения оборудования;
- системы гидрозолошлакоудаления;
- обмывки регенеративных воздухоподогревателей и конвективных поверхностей нагрева котлоагрегатов, работающих на мазуте;
- химической промывки и консервации оборудования;
- водоподготовительных установок и конденсатоочисток;
- загрязненные нефтепродуктами;
- дождевые воды с территорий электростанций.

16.3.3 В проектах электростанций должны быть предусмотрены технические решения, обеспечивающие отсутствие сбросов неочищенных сточных вод в природные водоемы, а также минимальное водопользование, в частности за счет:

- оснащения электростанций необходимыми очистными сооружениями;
- применения в технологическом процессе электростанций совершенного оборудования и рациональных схем водопользования;
- повторного использования отработанных в одном технологическом процессе вод на других установках;
- использование существующих, проектируемых очистных сооружений соседних промышленных предприятий или строительства общих сооружений с долевым участием;
- мероприятий, исключающих загрязнение поверхностных и грунтовых вод фильтрационными водами золоотвалов;
- использование отходов очистных сооружений, а также отходов внутристанционных технологических циклов путем утилизации шламов, солей, химреагентов, ценных металлов и др.

16.3.4 Сооружения по обработке и очистке производственных сточных вод ТЭС, как правило, надлежит размещать в одном комплексе, а также блокировать их с технологическими помещениями водоподготовительных установок.

16.3.5 Очистные сооружения должны быть оснащены необходимыми средствами измерения и контроля нормируемых показателей.

### **16.4 Защита от шума**

## **17. ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

В соответствии с Законами «О гражданской обороне» и «Защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» при проектировании отдельных инженерных систем, технологического оборудования, зданий и сооружений на ТЭС должны быть разработаны и предусмотрены меры, направленные:

- на сохранение ТЭС;
- на повышение устойчивости работы ТЭС, надежности топливоснабжения, технического водоснабжения, энергоснабжения, связи и транспорта в особый период;
- безаварийной остановки технологического процесса в случае чрезвычайных ситуаций (ЧС);
- противоаварийной устойчивости пунктов и систем управления производственными процессами, возможности управления процессами при ЧС;
- на максимально возможное уменьшение риска возникновения ЧС на ТЭС;
- на сохранение здоровья людей, снижения размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь при возникновении ЧС.

### **17.1. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны**

17.1.1. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны при проектировании ТЭС выполняются в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, регламентирующих порядок разработки и состав раздела «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций проектов строительства».

17.1.2. Категория электростанции по гражданской обороне устанавливается владельцем энергетического объекта и согласовывается МЧС.

17.1.3. При необходимости устройства защитных сооружений на территории ТЭС, их следует размещать в местах наибольшего сосредоточения укрываемого персонала.

Вместимость защитных сооружений гражданской обороны на ТЭС следует рассчитывать исходя из численности укрываемого персонала наибольшей работающей смены и категории объекта.

При проектировании сооружений гражданской обороны рекомендуется применять типовые проекты, утвержденные в установленном порядке.

17.1.4. Системы водоснабжения, канализации и пожаротушения следует проектировать в соответствии с действующими нормативными документами, а также с учетом требований норм по гражданской обороне.

17.1.5. Электростанция оборудуется охранной и контрольно-пропускной системой со средствами телефонной и громкоговорящей связи, системой оповещения и связи согласно требованию территориального Управления по делам ГОиЧС.

17.1.6. Компонировка генерального плана ТЭС, автомобильные дороги и проезды по территории промплощадки выполняются с учетом нормативных документов, включая требования норм по разработке инженерно-технические мероприятия гражданской обороны.

17.1.7. На электростанции должны предусматриваться мероприятия по светомаскировке в соответствии с требованиями действующих нормативных документов по гражданской обороне.

## **17.2. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций**

17.2.1. При строительстве тепловой электростанции должны быть предусмотрены мероприятия по предотвращению возможных чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть в результате внешних воздействий окружающей среды и внутренних источников потенциально опасных производств собственно электростанции.

Внешние источники воздействия на ТЭС выявляются при выборе площадки строительства. При проектировании учитываются исходные данные и требования территориального Управления по делам ГОиЧС.

17.2.2. Площадка строительства электростанции должна быть расположена вне санитарно-защитной зоны близлежащих потенциально (химически-, пожаро-, взрыво-и радиационно-) опасных объектов.

17.2.3. Размещение ТЭС не допускается:

- в зонах возможного затопления в результате разрушения плотин, дамб вышестоящих гидротехнических сооружений;
- непосредственно на тектонически и сейсмически активных разломах.

17.2.4. При размещении ТЭС в районах проявления опасных геологических и природных процессов (оползни, обвалы, карст, подтопление, селевые потоки, снежные лавины и другие явления) необходимо предусматривать инженерную защиту территории, зданий и сооружений в соответствии с действующими нормами.

17.2.5. При проектировании ТЭС в районах вечной мерзлоты следует руководствоваться нормативными документами по строительству в вечномерзлых грунтах.

17.2.6. Планировочные отметки площадки ТЭС, размещаемой на прибрежных участках рек и водоёмов, принимаются согласно нормативным документам по генпланам.

17.2.7. К внутренним потенциально опасным источникам собственно ТЭС, которые могут привести к чрезвычайным ситуациям, относятся водохранилище, склад жидкого топлива, газовое хозяйство, склад химических реагентов, баки-аккумуляторы горячей воды.

При проектировании конкретного объекта рекомендуется провести анализ для выявления дополнительных источников, которые могут создать чрезвычайную ситуацию с негативным воздействием на окружающую среду и селитебную зону.

17.2.8. Определяется санитарно-защитная зона на основании данных от возможного вредного воздействия ТЭС на внешнюю окружающую среду.

17.2.9. Размещение водохранилища должно осуществляться с учетом минимального ущерба от прорывной волны окружающей природе, промышленным предприятиям и населению.

Должен быть выполнен расчет параметров волны прорыва водохранилища. Необходимо предусмотреть систему контроля состояния гидротехнических сооружений.

Следует установить локальную систему оповещения в соответствии с требованиями Федеральных законов и других нормативных документов, регламентирующих создание локальных систем оповещения в районах размещения потенциально опасных объектов.

17.2.10. Газовое хозяйство на территории промплощадки должно быть оборудовано отключающей арматурой, автоматикой и аварийной сигнализацией на случай повышения или понижения давления в трубопроводах.

17.2.11. Склады твердого и жидкого топлива должны быть запроектированы в соответствии с требованиями нормативных документов.

Склад жидкого топлива оборудуется отключающей арматурой, сигнализацией и системой пожаротушения. На складах топлива обеспечивается проезд пожарного и аварийного автотранспорта.

17.2.12. Склад химических реагентов сооружается с учетом требований безопасного хранения вредных химических веществ (кислот, щелочей) для исключения возможности попадания их на прилегающую территорию.

17.2.13. Баки-аккумуляторы горячей воды единичной емкостью 5000 м<sup>3</sup> и более проектируются с учетом требований, исключающих разлив горячей воды на прилегающую территорию.

17.2.14. С целью обеспечения сохранности основного оборудования главного корпуса при потере напряжения собственных нужд следует предусматривать установку дизель-генератора для энергоблоков единичной мощностью более 25 МВт.



# **Оформление проектной документации**

## **1 Область применения**

Настоящий стандарт устанавливает основные требования к проектной документации объектов капитального строительства и рабочей документации объектов строительства всех видов.

Общие правила выполнения и комплектования графической и текстовой документации, установленные в подразделе 4.1 и в разделах 5 и 8 настоящего стандарта, распространяются также на отчетную техническую документацию по инженерным изысканиям для строительства.

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 6.30-2003 Унифицированные системы документации. Унифицированная система организационно-распорядительной документации. Требования к оформлению документов

ГОСТ Р 21.1001-2009 Система проектной документации для строительства. Общие положения

ГОСТ Р 21.1002-2008 Система проектной документации для строительства. Нормоконтроль проектной и рабочей документации

ГОСТ Р 21.1003-2009 Система проектной документации для строительства. Учет и хранение проектной документации

ГОСТ Р 21.1703-2000 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации проводных средств связи

ГОСТ Р 21.1709-2001 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации линейных сооружений гидромелиоративных систем

ГОСТ 2.004-88 Единая система конструкторской документации. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ

ГОСТ 2.051-2006 Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения

ГОСТ 2.101-68 Единая система конструкторской документации. Виды изделий

ГОСТ 2.102-68 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов

ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам

ГОСТ 2.106-96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы

ГОСТ 2.109-73 Единая система конструкторской документации. Основные

требования к чертежам

ГОСТ 2.113-75 Единая система конструкторской документации. Групповые и базовые конструкторские документы

ГОСТ 2.114-95 Единая система конструкторской документации. Технические условия

ГОСТ 2.301-68 Единая система конструкторской документации. Форматы

ГОСТ 2.302-68 Единая система конструкторской документации. Масштабы

ГОСТ 2.303-68 Единая система конструкторской документации. Линии

ГОСТ 2.304-81 Единая система конструкторской документации. Шрифты чертежные

ГОСТ 2.305-68 Единая система конструкторской документации.

Изображения - виды, разрезы, сечения

---

## **Проект**

ГОСТ 2.306-68 Единая система конструкторской документации. Обозначения графические материалов и правила их нанесения на чертежах

ГОСТ 2.307-68 Единая система конструкторской документации. Нанесение размеров и предельных отклонений

ГОСТ 2.308-79 Единая система конструкторской документации. Указание на чертежах допусков форм и расположения поверхностей

ГОСТ 2.309-73 Единая система конструкторской документации. Обозначение шероховатости поверхностей

ГОСТ 2.310-68 Единая система конструкторской документации. Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки

ГОСТ 2.311-68 Единая система конструкторской документации. Изображение резьбы

ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений

ГОСТ 2.313-82 Единая система конструкторской документации. Условные изображения и обозначения неразъемных соединений

ГОСТ 2.314-68 Единая система конструкторской документации. Указания на чертежах о маркировании и клеймении изделий

ГОСТ 2.316-68 Единая система конструкторской документации. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц

ГОСТ 2.317-69 Единая система конструкторской документации. Аксонометрические проекции

ГОСТ 21.113-88 Система проектной документации для строительства. Обозначения характеристик точности

ГОСТ 21.110-95 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов

ГОСТ 21.114-95 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения эскизных чертежей общих видов нетиповых изделий

ГОСТ 21.408-93 Система проектной документации для строительства.

Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов

ГОСТ 21.501-93 Система проектной документации для строительства.  
Правила выполнения архитектурно-строительных рабочих чертежей

**Примечание** – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

### 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 21.1001, ГОСТ Р 21.1002, а также следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 основная надпись:** Совокупность сведений о проектом документе, содержащихся в графах таблицы установленной формы, помещаемой на листах проектной и рабочей документации.

**3.2 марка:** Сочетание буквенных или буквенно-цифровых индексов, входящее в обозначение проектного документа рабочей документации и определяющее отношение документа к определенному виду строительно-монтажных работ или строительных конструкций и их элементов.

**3.3 спецификация оборудования, изделий и материалов:** Текстовый проектный документ, определяющий состав оборудования, изделий и материалов, предназначенный для комплектования, подготовки и осуществления строительства.

[ГОСТ 21.110-95, раздел 3]

**3.4 эскизный чертеж общего вида нетипового изделия:** Документ, определяющий исходную конструкцию нетипового изделия, содержащий упрощенное изображение, основные параметры и технические требования к изделию в объеме исходных данных (задания), необходимых для разработки конструкторской документации.

[ГОСТ 21.114-95, статья 3.1]

**3.5 нетиповое изделие** (конструкция, устройство, монтажный блок): Изделие, впервые разработанное и изготовленное, как правило, на месте монтажа (в заготовительной мастерской монтажной организации) технологических, энергетических, санитарно-технических и других систем.  
[ГОСТ 21.114-95, статья 3.3]

**3.6 полный комплект рабочей документации:** Совокупность основных комплектов рабочих чертежей по видам строительных и монтажных работ, дополненная прилагаемыми и ссылочными документами и необходимая для строительства здания или сооружения.

**3.7 строительная конструкция:** Часть здания или сооружения, выполняющая определенные несущие, ограждающие и (или) эстетические функции.

**3.8 строительное изделие:** Изделие (как правило, промышленного производства), предназначенное для применения в качестве элемента строительных конструкций, зданий и сооружений.

**3.9 элемент строительной конструкции:** Составная часть сборной или монолитной конструкции.

**3.10 координационная ось:** Одна из координационных линий, определяющих членение здания или сооружения на модульные шаги и высоты этажей.  
[ГОСТ 28984-91, приложение, статья 13]

## **4 Общие требования к составу и комплектованию проектной и рабочей документации**

### **4.1 Проектная документация**

4.1.1 Состав разделов проектной документации объектов капитального строительства и требования к содержанию ее разделов установлены утвержденным Правительством Российской Федерации Положением [2].

Проектную документацию комплектуют в тома, как правило, по отдельным разделам и подразделам, установленным [2]. Каждый том нумеруют арабскими цифрами в соответствии с номером раздела.

*Пример – Том 1 – Раздел 1 «Пояснительная записка»*

*Том 2 – Раздел 2 «Схема планировочной организации земельного участка»*

При большом объеме тома его допускается делить на части, которые нумеруют по типу: Том 1.1, Том 1.2. При необходимости части тома допускается делить на книги. В этом случае книги нумеруют по типу: Том 5.1.1, Том 5.1.2. Всем частям тома или книгам дают наименования, отражающие содержание частей тома или книг.

4.1.2 Текстовые и графические материалы, включаемые в том, часть тома, книгу (далее – том), комплектуют, как правило, в следующем порядке:

- обложка;
- титульный лист;

- содержание тома;
- состав проектной документации;
- текстовая часть;
- графическая часть (основные чертежи и схемы).

Правила оформления обложки, титульного листа, содержания тома и состава проектной документации приведены в разделе 8.

4.1.3 Каждому тому, а также каждому текстовому и графическому документу, включенному в том, присваивают обозначение, которое указывают на обложке, титульном листе и в основных надписях.

4.1.4 В состав обозначения тома включают базовое обозначение, устанавливаемое по действующей в проектной организации системе, и через дефис – шифр раздела проектной документации, к которому добавляют номер тома (части тома, книги) в соответствии с 4.1.1.

В базовое обозначение включают номер договора (контракта) или/и цифровой код объекта строительства.

Шифры разделов проектной документации приведены в таблицах А.1 и А.2 приложения А.

Обозначения документов, входящих в том, устанавливают на основе обозначения тома по действующей в проектной организации системе.

#### **Примеры**

*1 2345–ПЗ1 – Раздел 1 «Пояснительная записка»*

*2 2345–ПЗУ2.1 – Раздел 2 «Схема планировочной организации земельного участка». Общая часть*

*3 2345–ПЗУ2.2 – Раздел 2 «Схема планировочной организации земельного участка». Железнодорожный транспорт*

*4 2345–АР3 – Раздел 3 «Архитектурные решения»,*

где 2345 – базовое обозначение;

ПЗ, ПЗУ и АР – шифры разделов проектной документации;

1, 2.1, 2.2, 3 – номера томов и частей томов по составу проектной документации.

**Примечание** – Положения 4.1.4 и 7.2.1 могут быть дополнены или изменены в соответствии со спецификой проектной организации.

4.1.5 Количество листов, включаемых в том, определяют из необходимости обеспечения удобства работы, но не более 250 листов формата А4 по ГОСТ 2.301 или 150 листов формата А3, 75 листов формата А2, 50 листов формата А1.

4.1.6 Общие требования к выполнению графической документации приведены в разделе 5.

4.1.7 Текстовые части разделов проектной документации и другие текстовые документы выполняют по ГОСТ 2.105 с учетом требований [2] и 5.1, 5.2 настоящего стандарта.

4.1.8 Разрешается выполнять текстовые части разделов проектной документации без основных надписей, дополнительных граф к ним и рамок. В этом случае в текстовой части:

– на первом листе приводят список исполнителей, в котором в порядке, установленном для титульного листа, указывают должности, инициалы и фамилии лиц, принимавших участие в разработке, контроле и согласовании текстовой части, и предусматривают места для подписей и дат подписания. На втором и, при необходимости, на последующих листах помещают содержание (оглавление), включающее номера (обозначения) и наименования разделов, подразделов и приложений, с указанием номеров листов (страниц);

– в верхней части (верхнем колонтитуле) каждого листа указывают обозначение документа: в левом углу (при односторонней печати) или правом углу четных страниц и левом углу нечетных страниц (при двухсторонней печати);

– в нижней части (нижнем колонтитуле) каждого листа указывают: логотип и наименование организации, подготовившей документ, наименование, инвентарный номер, имя файла, номер страницы документа (в нижнем правом углу – при односторонней печати, или в левом углу четных страниц и правом углу нечетных страниц – при двухсторонней печати), а также, при необходимости, номер версии документа и другие сведения;

– данные об изменениях указывают в соответствии с 7.2.

4.1.9 Расчеты конструктивных и технологических решений, являющиеся обязательным элементом подготовки проектной документации, в состав проектной документации не включают. Их оформляют в соответствии с требованиями к текстовым документам и хранят в архиве проектной организации. Расчёты представляют заказчику или органам государственной экспертизы по их требованию.

## **4.2 Рабочая документация**

4.2.1 В состав рабочей документации, передаваемой заказчику, включают:

– рабочие чертежи, предназначенные для производства строительных и монтажных работ, которые объединяют в комплекты (далее – основные комплекты рабочих чертежей) по маркам в соответствии с таблицей Б.1 приложения Б;

– прилагаемые документы, разработанные в дополнение к рабочим чертежам основного комплекта.

4.2.2 В состав основных комплектов рабочих чертежей включают общие данные по рабочим чертежам, чертежи и схемы, предусмотренные соответствующими стандартами Системы проектной документации для строительства (далее – СПДС).

4.2.3 Основной комплект рабочих чертежей любой марки может быть разделен на несколько основных комплектов той же марки (с добавлением к ней порядкового номера) в соответствии с процессом организации строительных и монтажных работ.

*Пример – AP1; AP2; КЖ1; КЖ2*

4.2.4 Каждому основному комплекту рабочих чертежей присваивают обозначение, в состав которого включают базовое обозначение,

устанавливаемое по действующей в организации системе, и через дефис – марку основного комплекта.

**Пример – 2345-12-АР,**

где 2345-12 – базовое обозначение. В базовое обозначение включают, например, номер договора (контракта) или/и цифровой код объекта строительства, а также номер здания или сооружения по генеральному плану\*;

АР – марка основного комплекта рабочих чертежей.

4.2.5 Допускается оформление основных комплектов рабочих чертежей электротехнических марок (ЭО, ЭН, ЭМ, ЭС и др.) и основного комплекта рабочих чертежей автоматизации отдельными документами. Каждому документу присваивают обозначение, состоящее из базового обозначения, марки основного комплекта с добавлением через точку порядкового номера документа арабскими цифрами.

**Пример – 2345–12–ЭО.1; 2345–12–ЭО.2**

где 2345-12 – базовое обозначение;

ЭО – марка основного комплекта рабочих чертежей;

1, 2 – порядковые номера документов основного комплекта рабочих чертежей.

Первым документом при таком оформлении основного комплекта рабочих чертежей являются общие данные по рабочим чертежам.

4.2.6 К прилагаемым документам относят:

- рабочую документацию на строительные изделия;
- эскизные чертежи общих видов нетиповых изделий, выполняемые в соответствии с ГОСТ 21.114;
- спецификацию оборудования, изделий и материалов, выполняемую в соответствии с ГОСТ 21.110;
- опросные листы и габаритные чертежи, выполняемые в соответствии с данными заводов-изготовителей оборудования;
- сметную документацию по формам, установленным в методике [3];
- другие документы, предусмотренные соответствующими стандартами СПДС.

Конкретный состав прилагаемых документов и необходимость их выполнения устанавливаются соответствующими стандартами СПДС и заданием на проектирование.

Прилагаемые документы проектная организация передает заказчику одновременно с основным комплектом рабочих чертежей в количестве, установленном для рабочих чертежей.

4.2.7 Каждому прилагаемому документу присваивают обозначение основного комплекта с добавлением через точку шифра прилагаемого документа в соответствии с приложением В.

**Пример – 2345–12–ЭО.С,**

где 2345–12–ЭО – обозначение основного комплекта рабочих чертежей;

---

\* Для рабочих чертежей линейных сооружений, генерального плана, наружных коммуникаций эту часть базового обозначения исключают или заменяют нулями.

С – шифр спецификации оборудования, изделий и материалов.

4.2.8 В рабочих чертежах допускается применять типовые строительные конструкции, изделия и узлы путем ссылок на документы, содержащие рабочие чертежи этих конструкций и изделий. К ссылочным документам относят:

- чертежи типовых конструкций, изделий и узлов;
- стандарты, в состав которых включены чертежи, предназначенные для изготовления изделий.

Ссылочные документы в состав рабочей документации, передаваемой заказчику, не входят. Проектная организация, при необходимости, передает их заказчику по отдельному договору.

### **4.3 Общие данные по рабочим чертежам**

4.3.1 На первых листах каждого основного комплекта рабочих чертежей приводят общие данные по рабочим чертежам, включающие:

- ведомость рабочих чертежей основного комплекта, выполняемую по форме 1;
- ведомость ссылочных и прилагаемых документов, оформляемую по форме 2;
- ведомость основных комплектов рабочих чертежей, выполняемую по форме 2;
- ведомость спецификаций (при наличии в основном комплекте нескольких схем расположения), выполняемую по форме 1.
- условные обозначения, не установленные национальными стандартами, и значения которых не указаны на других листах основного комплекта рабочих чертежей;
- общие указания;
- другие данные, предусмотренные соответствующими стандартами СПДС.

Формы 1 и 2 с указаниями по их заполнению приведены в приложении Г.

4.3.2 Ведомость рабочих чертежей основного комплекта содержит последовательный перечень листов основного комплекта.

При оформлении основного комплекта рабочих чертежей отдельными документами (см. 4.2.5) вместо ведомости рабочих чертежей основного комплекта в состав общих данных включают ведомость документов основного комплекта по форме 2, а в каждом из последующих документов основного комплекта приводят ссылки на общие данные по рабочим чертежам.

4.3.3 Ведомость ссылочных и прилагаемых документов составляют по разделам:

- ссылочные документы;
- прилагаемые документы.

В разделе «Ссылочные документы» указывают документы согласно 4.2.8. При этом в соответствующих графах ведомости указывают обозначение и наименование серии и номер выпуска чертежей типовых конструкций, изделий и узлов или обозначение и наименование стандарта.

В разделе «Прилагаемые документы» указывают документы согласно 4.2.6.



4.3.4 Ведомость основных комплектов рабочих чертежей приводят на листах общих данных одного из основных комплектов рабочих чертежей здания или сооружения (по усмотрению главного инженера проекта). Ведомость содержит последовательный перечень основных комплектов рабочих чертежей, входящих в состав полного комплекта рабочей документации по зданию или сооружению.

При наличии нескольких основных комплектов рабочих чертежей одной марки составляют ведомость комплектов этой марки по форме 2 приложения Г, которую приводят на листе общих данных для каждого из этих комплектов.

4.3.5 В общих указаниях приводят:

- реквизиты документов, на основании которых принято решение о разработке рабочей документации (например, задания на проектирование, утвержденной проектной документации);

- запись о соответствии рабочей документации заданию на проектирование, выданным техническим условиям, требованиям указанных в рабочей документации действующих технических регламентов, стандартов, сводов правил, других документов, содержащих установленные требования;

- перечень технических регламентов и нормативных документов (стандартов, сводов правил и т.п.), на которые имеются ссылки в рабочей документации;

- абсолютную отметку, принятую в рабочих чертежах здания или сооружения условно за нулевую (как правило, приводят на архитектурно-строительных чертежах);

- запись о результатах проверки на патентоспособность и патентную чистоту впервые применяемых в проектной документации технологических процессов, оборудования, конструкций, изделий и материалов, а также номера патентов и заявок, по которым приняты решения о выдаче патентов на используемые в рабочей документации изобретения;

- перечень видов работ, которые оказывают влияние на безопасность здания или сооружения и для которых необходимо составлять акты освидетельствования скрытых работ и акты освидетельствования ответственных конструкций;

- сведения о том, кому принадлежит данная интеллектуальная собственность (при необходимости);

- эксплуатационные требования, предъявляемые к проектируемому зданию или сооружению (при необходимости);

- другие необходимые указания.

В общих указаниях не следует повторять технические требования, помещенные на других листах основного комплекта рабочих чертежей, и давать описание принятых в рабочих чертежах технических решений.

## **5 Общие правила выполнения документации**

### **5.1 Общие положения**

5.1.1 При выполнении проектной, рабочей документации, а также отчетной

технической документации по инженерным изысканиям для строительства, следует руководствоваться положениями соответствующих стандартов СПДС, а также стандартов Единой системы конструкторской документации (далее – ЕСКД).

Перечень стандартов ЕСКД, подлежащих учету при выполнении графической и текстовой документации для строительства, приведен в таблице Д.1 приложения Д.

5.1.2 Документацию, как правило, выполняют автоматизированным способом на бумажном носителе и/или в виде электронного документа.

При выполнении документации в виде электронных документов (ДЭ) и передаче документации на электронных носителях должны соблюдаться требования ГОСТ 2.051. Взаимное соответствие между документами в электронной форме и на бумажном носителе обеспечивает разработчик.

5.1.3 При выполнении документации применяют шрифты, используемые средствами вычислительной техники, при обеспечении условий доступности этих шрифтов пользователям документов. При оформлении текстовых частей разделов проектной документации и других документов, содержащих в основном сплошной текст, рекомендуется использовать гарнитуру шрифта Arial или Times New Roman.

5.1.4 При подготовке документации должна быть обеспечена возможность изготовления копий документации надлежащего качества способами репрографии.

5.1.5 Чертежи выполняют в оптимальных масштабах по ГОСТ 2.302 с учетом их сложности и насыщенности информацией.

Масштабы на чертежах не указывают за исключением чертежей изделий и других случаев, предусмотренных в соответствующих стандартах СПДС.

5.1.6 Содержательная и реквизитная части ДЭ должны соответствовать требованиям стандартов СПДС и ЕСКД.

5.1.7 Структура и состав реквизитов ДЭ должны обеспечивать его обращение в рамках программных средств (отображение, внесение изменений, печать, учет и хранение в базах данных, а также передачу в другие автоматизированные системы) с соблюдением при этом нормативных требований по оформлению документов.

5.1.8 Перечень сокращений слов, допускаемых в основных надписях, технических требованиях, таблицах, чертежах и спецификациях, составлен в дополнение к ГОСТ 2.316 и приведен в таблице Е.1 приложения Е.

## **5.2 Основные надписи**

5.2.1 Каждый лист графического и текстового документа, как правило, оформляют основной надписью и дополнительными графами к ней. Формы основных надписей и указания по их заполнению приведены в приложении Ж.

Основную надпись располагают в правом нижнем углу листа.

На листах формата А4 по ГОСТ 2.301 основную надпись располагают вдоль короткой стороны листа.

5.2.2 Содержание, расположение и размеры граф основной надписи, дополнительных граф к ней, а также размеры рамок должны соответствовать:

- на листах основных комплектов рабочих чертежей и листах графической части проектной документации – форме 3;
- на первом листе чертежей строительных изделий – форме 4;
- на первых листах текстовых документов и эскизных чертежей общих видов нетиповых изделий, оформляемых в виде выпуска, – форме 5;
- на последующих листах чертежей строительных изделий, текстовых документов и эскизных чертежей общих видов – форме 6.

Допускается на первом листе чертежа строительного изделия применять основную надпись по форме 5.

Если некоторые документы (спецификацию оборудования, изделий и материалов, эскизные чертежи общих видов нетиповых изделий) выпускают без титульного листа, то в этом случае первый лист документа оформляют основной надписью по форме 3, последующие – по форме 6.

5.2.3 В отчетной технической документации по результатам инженерных изысканий применяют основную надпись:

- на листах графических документов, используемых в проектировании в качестве подосновы – по форме 3;
- на первых листах других графических и текстовых документов – по форме 5, на последующих листах – по форме 6.

5.2.4 Основную надпись, дополнительные графы к ней и рамки выполняют сплошными толстыми основными и сплошными тонкими линиями по ГОСТ 2.303.

5.2.5 Таблицу изменений в основной надписи (графы 14 - 19) при необходимости допускается продолжать вверх или влево от основной надписи. При расположении таблицы изменений слева от основной надписи наименования граф 14 - 19 повторяют.

5.2.6 Расположение основной надписи и дополнительных граф к ней, а также размерных рамок на листах приведены на рисунке И.1 приложения И.

5.2.7 Расположение и размеры дополнительных граф для идентификации ДЭ проектная организация устанавливает самостоятельно.

### **5.3 Координационные оси**

5.3.1 На изображении каждого здания или сооружения указывают координационные оси, которым присваивают самостоятельную систему обозначений.

Координационные оси наносят на изображения здания, сооружения тонкими штрихпунктирными линиями с длинными штрихами, обозначают арабскими цифрами и прописными буквами русского алфавита (за исключением букв: Ё, З, Й, О, Х, Ц, Ч, Щ, Ъ, Ы, Ь) в кружках диаметром 6 - 12 мм.

Пропуски в цифровых и буквенных (кроме указанных) обозначениях координационных осей не допускаются.

5.3.2 Цифрами обозначают координационные оси по стороне здания и

сооружения с большим количеством осей. Если для обозначения координационных осей не хватает букв алфавита, последующие оси обозначают двумя буквами.

**Пример – АА, ББ, ВВ**

5.3.3 Последовательность цифровых и буквенных обозначений координационных осей принимают по плану слева направо и снизу вверх в соответствии с рисунком 1а или как показано на рисунках 1б и 1в.

5.3.4 Обозначение координационных осей, как правило, наносят по левой и нижней сторонам плана здания и сооружения.

При несовпадении координационных осей противоположных сторон плана, в местах расхождения дополнительно наносят обозначения указанных осей по верхней и/или правой сторонам.

5.3.5 Для отдельных элементов, расположенных между координационными осями основных несущих конструкций, наносят дополнительные оси, которым присваивают обозначение в виде дроби, в числителе которой указывают обозначение предшествующей координационной оси, а в знаменателе – дополнительный порядковый номер в пределах участка между смежными координационными осями в соответствии с рисунком 1г.

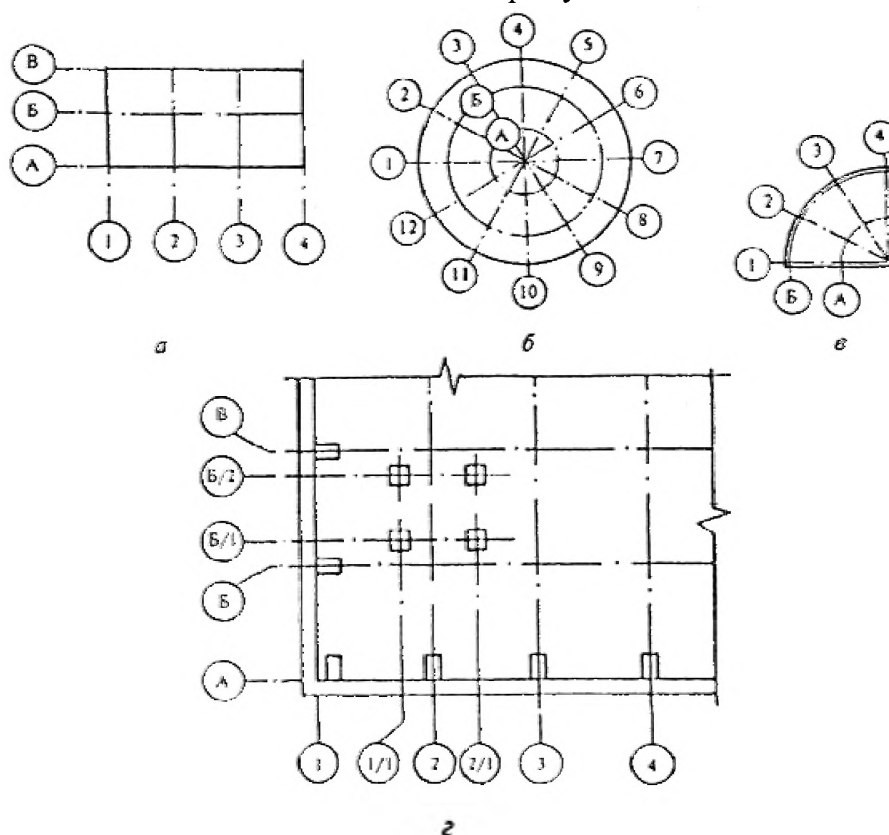


Рисунок 1

5.3.6 На изображении повторяющегося элемента, привязанного к нескольким координационным осям, координационные оси обозначают в соответствии с рисунком:

- 2а – при их количестве не более 3;

- 2б – при их количестве более 3;
- 2в – при всех буквенных и цифровых координационных осях.

При необходимости ориентацию координационной оси, к которой привязан элемент, по отношению к соседней оси указывают в соответствии с рисунком 2г.

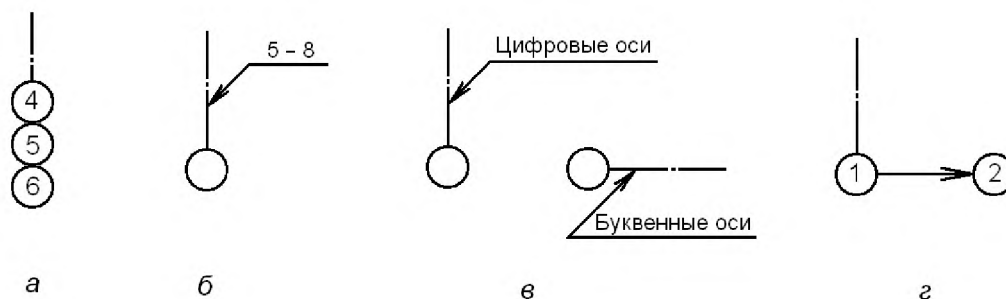


Рисунок 2

Допускается координационным осям фахверковых колонн присваивать цифровые и буквенные обозначения в продолжение обозначений осей основных колонн без дополнительного номера.

5.3.7 Для обозначения координационных осей блок-секций жилых зданий применяют индекс «с».

**Пример – 1с, 2с, Ас, Бс**

На планах жилых зданий, скомпонованных из блок-секций, обозначения крайних координационных осей блок-секций указывают без индекса в соответствии с рисунком 3.

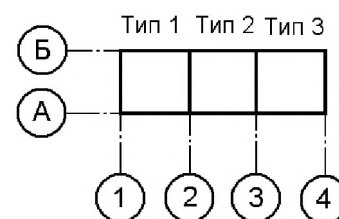


Рисунок 3

**5.4 Нанесение размеров, уклонов, отметок и надписей**

5.4.1 Линейные размеры на чертежах указывают без обозначения единиц измерения:

- в метрах с точностью до двух знаков после запятой – на чертежах наружных сетей и коммуникаций, генерального плана и транспорта, за исключением случаев, оговоренных в соответствующих стандартах СПДС;
- в миллиметрах – на всех остальных видах чертежей.

5.4.2 Размерную линию на ее пересечении с выносными линиями, линиями контура или осевыми линиями ограничивают засечками длиной 2 – 4 мм, наносимыми с наклоном вправо под углом 45° к размерной линии, при этом размерные линии должны выступать за крайние выносные линии на 2 – 5 мм.

5.4.3 Отметки уровней (высоты, глубины) элементов конструкций, оборудования, трубопроводов, воздухопроводов и др. от уровня отсчета (условной «нулевой» отметки) указывают в метрах без обозначения единицы измерения с

тремя десятичными знаками, отделенными от целого числа запятой, за исключением случаев, оговоренных в соответствующих стандартах СПДС.

Отметки уровней на фасадах, разрезах и сечениях помещают на выносных линиях (или на линиях контура) и обозначают знаком «↓», выполненным сплошными тонкими линиями с длиной штрихов 2 – 4 мм под углом 45° к выносной линии или линии контура, в соответствии с рисунком 4; на планах – в прямоугольнике в соответствии с рисунком 5, за исключением случаев, оговоренных в соответствующих стандартах СПДС.

«Нулевую» отметку, принимаемую, как правило, для поверхности какого-либо элемента конструкций здания или сооружения, расположенного вблизи планировочной поверхности земли, указывают без знака; отметки выше нулевой – со знаком «+», ниже нулевой – со знаком «-».

5.4.4 На планах направление уклона плоскостей указывают стрелкой, над которой при необходимости проставляют величину уклона в процентах в соответствии с рисунком 6 или в виде отношения единицы высоты плоскости к соответствующей горизонтальной проекции (например, 1:7).

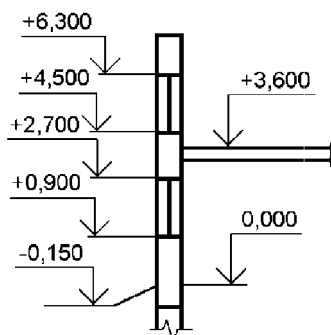


Рисунок 4

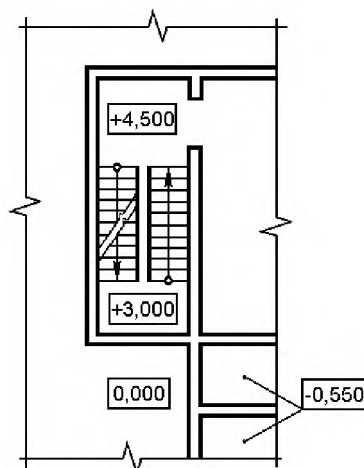


Рисунок 5

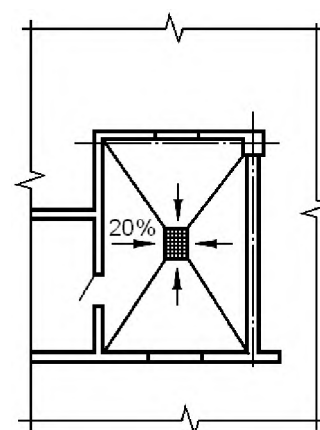


Рисунок 6

Допускается при необходимости величину уклона указывать в промилле, в виде десятичной дроби с точностью до третьего знака. На чертежах и схемах перед размерным числом, определяющим величину уклона, наносят знак "∠", острый угол которого должен быть направлен в сторону уклона (кроме крутизны откосов насыпей и выемок).

Обозначение уклона наносят непосредственно над линией контура или на полке линии-выноски.

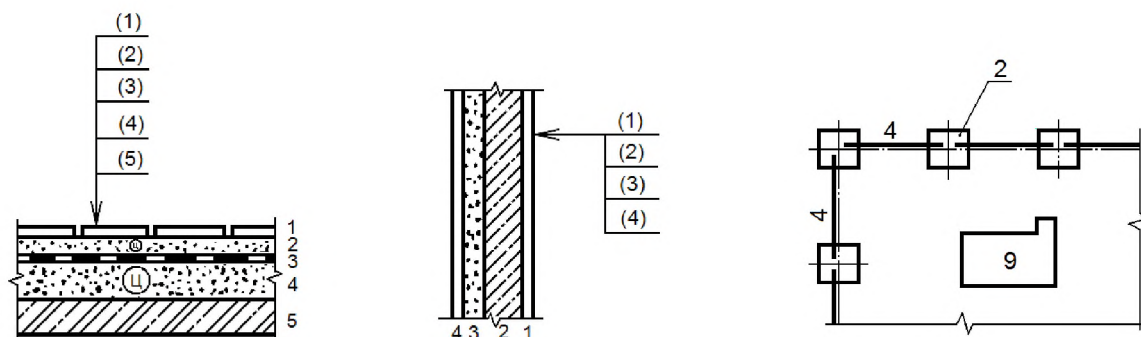
5.4.5 Выносные надписи к многослойным конструкциям следует выполнять в соответствии с рисунком 7.

5.4.6 Номера позиций или марки элементов наносят на полках линий-выносок, проводимых от изображений элементов конструкций зданий или сооружений, рядом с изображением – без линии-выноски или в пределах контуров изображенных элементов в соответствии с рисунком 8.

Линию-выноску, как правило, заканчивают точкой. Если линия-выноска отводится от линии, обозначающей поверхность, то ее заканчивают стрелкой

(см. рисунок 7). При мелкомасштабном изображении линии-выноски заканчивают без стрелки и точки.

5.4.7 Размер шрифта для обозначения координационных осей, позиций (марок), наименований и обозначений изображений должен быть на один-два номера больше размера шрифта, принятого для размерных чисел на том же чертеже.



**Примечание** – Цифрами условно обозначена последовательность расположения слоев конструкций и надписей на полках линий-выносок.

Рисунок 8

Рисунок 7

## 5.5 Изображения (разрезы, сечения, виды, выносные элементы)

5.5.1 В строительных чертежах применяют, как правило, следующие названия видов и разрезов:

- «фасад» – для главного вида здания или сооружения, а также видов справа, слева и сзади;
- «план» – для горизонтальных разрезов здания или сооружения, а также вида сверху;
- «разрез» – для вертикальных разрезов здания или сооружения.

5.5.2 Разрезы здания или сооружения обозначают арабскими цифрами последовательно в пределах основного комплекта рабочих чертежей. Сечения обозначают аналогичным образом.

Допускается самостоятельная нумерация для разрезов и сечений отдельных участков здания, сооружения или установок, все чертежи которых размещены на одном листе или группе листов и если на этих чертежах отсутствуют ссылки на разрезы и сечения, расположенные на других листах основного комплекта рабочих чертежей.

Допускается разрезы и сечения обозначать прописными буквами русского алфавита.

Положение секущей плоскости указывают на чертеже линией сечения (разомкнутой линией по ГОСТ 2.303). При сложном разрезе штрихи проводят также у мест пересечения секущих плоскостей между собой. На начальном и конечном штрихах следует ставить стрелки, указывающие направление взгляда;

стрелки должны наноситься на расстоянии 2 - 3 мм от конца штриха (рисунок 9).

Направление взгляда для разреза по плану здания и сооружения принимают, как правило, снизу вверх и справа налево.

5.5.3 Если отдельные части вида (фасада), плана, разреза требуют более детального изображения, то дополнительно выполняют местные виды и выносные элементы – узлы и фрагменты.

5.5.4 На изображении (плане, фасаде или разрезе), откуда выносятся узел, соответствующее место отмечают замкнутой сплошной тонкой линией (окружностью, овалом или прямоугольником со скругленными углами), с нанесением на полке линии-выноски обозначения узла арабской цифрой в соответствии с рисунком 10 или прописной буквой русского алфавита.

При необходимости ссылки на узел, помещенный в другом основном комплекте рабочих чертежей, или на рабочие чертежи типового строительного узла указывают обозначение и номер листа соответствующего основного комплекта рабочих чертежей в соответствии с рисунком 10б или серию рабочих чертежей типовых узлов и номер выпуска в соответствии с рисунком 10в.

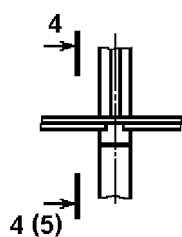


Рисунок 9

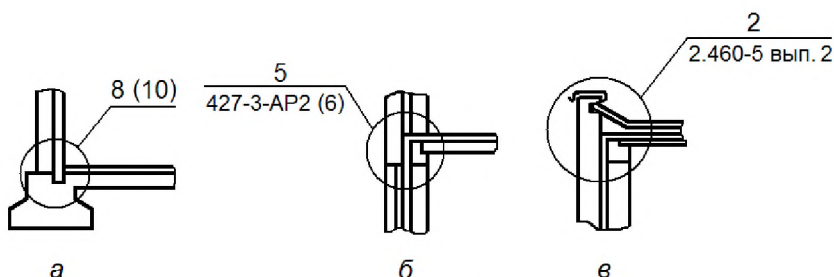


Рисунок 10

При необходимости ссылку на узел в сечении выполняют в соответствии с рисунком 11.

Над изображением узла указывают в кружке его обозначение в соответствии с рисунками 12а или 12б.

Узлу, являющемуся полным зеркальным отражением другого (основного) исполнения, присваивают то же обозначение, что и основному исполнению, с добавлением индекса «н».



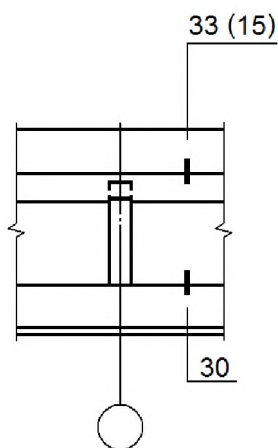


Рисунок 11

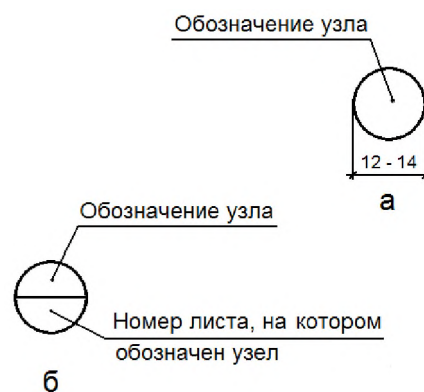


Рисунок 12

5.5.5 Местные виды обозначают прописными буквами русского алфавита, которые наносят рядом со стрелкой, указывающей направление взгляда. Эти же обозначения наносят над изображениями видов.

5.5.6 Для каждого вида изображений (разрезов и сечений, узлов, фрагментов) применяют самостоятельный порядок нумерации или буквенных обозначений.

5.5.7 Фрагменты планов, разрезов, фасадов, как правило, отмечают фигурной скобкой в соответствии с рисунком 13.

Под фигурной скобкой, а также над соответствующим фрагментом наносят наименование и порядковый номер фрагмента.

Допускается ссылку на фрагмент помещать на полке линии-выноски.

5.5.8 Изображения до оси симметрии симметричных планов и фасадов зданий и сооружений, схем расположения элементов конструкций, планов расположения технологического, энергетического, санитарно-технического и другого оборудования не допускаются.

5.5.9 Если изображение разреза, сечения, узла, вида или фрагмента помещено на другом листе, то после обозначения изображения указывают в скобках номер этого листа в соответствии с рисунками 9, 10а, 11 и 13.

5.5.10 Изображения допускается поворачивать. При этом в наименованиях изображений на чертежах не приводят условное графическое обозначение «повернуто»  $\odot$  по ГОСТ 2.305, если положение изображения определено однозначно, т.е. ориентировано координационными осями и/или высотными отметками.

5.5.11 Если изображение (например, план) не помещается на листе принято-

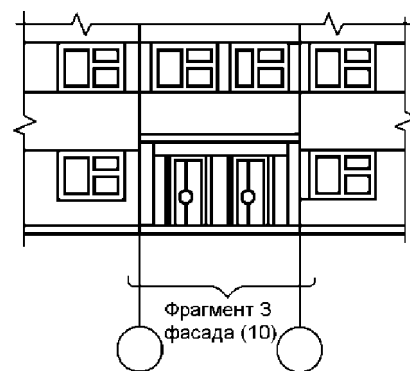
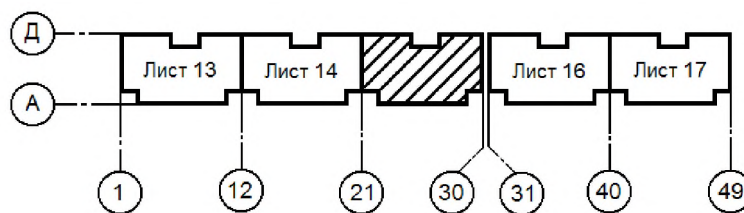


Рисунок 13

го формата, то его делят на несколько участков, размещая их на отдельных листах.

В этом случае на каждом листе, где показан участок изображения, приводят схему целого изображения с необходимыми координационными осями и условным обозначением (штриховкой) показанного на данном листе участка изображения в соответствии с рисунком 14.



**Примечание** – Если чертежи участков изображения помещены в разных основных комплектах рабочих чертежей, то над номером листа указывают полное обозначение соответствующего основного комплекта.

Рисунок 14

5.5.12 Если планы этажей многоэтажного здания имеют небольшие отличия друг от друга, то полностью выполняют план одного из этажей, для других этажей выполняют только те части плана, которые необходимы для показа отличия от плана, изображенного полностью.

Под наименованием частично изображенного плана приводят запись: «Остальное см. план (наименование полностью изображенного плана)».

5.5.13 В наименованиях планов здания или сооружения указывают слово «План» и отметку чистого пола или номер этажа, или обозначение соответствующей секущей плоскости.

#### **Примеры**

1 **План на отм. 0,000**

2 **План 2 этажа**

3 **План 3–3**

При выполнении части плана в наименовании указывают оси, ограничивающие эту часть плана.

**Пример – План на отм. 0,000 между осями 21 – 30 и А – Д**

Допускается в наименовании плана этажа указывать назначение помещений, расположенных на этаже.

5.5.14 В наименованиях разрезов здания (сооружения) указывают слово «Разрез» и обозначение соответствующей секущей плоскости по 5.5.2.

**Пример – Разрез 1 – 1**

Наименованиями сечений являются цифровые или буквенные обозначения секущих плоскостей.

**Пример – 5 – 5, Б – Б**

5.5.15 В наименованиях фасадов здания или сооружения указывают слово «Фасад» и крайние оси, между которыми расположен фасад.

## *Пример – Фасад 1 – 12, Фасад 12 – 1, Фасад А – Г*

5.5.16 Наименования изображений на чертежах не подчеркивают.

### **6 Правила выполнения спецификаций на чертежах**

6.1 К схеме расположения элементов сборной конструкции, монолитной железобетонной конструкции, к чертежам расположения технологического оборудования и/или трубопроводов, установок (блоков) технологического, санитарно-технического и другого оборудования составляют спецификацию по форме 7 приложения К.

При выполнении чертежей групповым методом составляют групповые спецификации по форме 8 приложения К.

6.2 Спецификацию помещают, как правило, на листе, где изображены схемы, планы чертежей расположения оборудования и трубопроводов, планы чертежей установок. Допускается выполнять спецификацию на отдельных листах.

6.3 Спецификации строительных изделий составляют по ГОСТ 21.501.

6.4 При заполнении форм спецификаций автоматизированным способом горизонтальные строки допускается не проводить.

### **7 Правила внесения изменений**

#### **7.1 Внесение изменений в рабочую документацию**

##### **7.1.1 Общие положения**

7.1.1.1 Изменением рабочего документа, ранее переданного заказчику, является любое исправление, исключение или добавление в него каких-либо данных без изменения обозначения этого документа.

Обозначение документа допускается изменять только в случае, когда разным документам ошибочно присвоены одинаковые обозначения или в обозначении документа допущена ошибка.

7.1.1.2 Внесение изменений в расчеты и сметную документацию не допускается.

7.1.1.3 Если изменение документа неприемлемо, то должен быть выпущен новый документ с новым обозначением.

7.1.1.4 Информацию об изменении документа указывают в основной надписи этого документа и в общих данных по рабочим чертежам.

7.1.1.5 Изменения вносят в подлинник документа.

7.1.1.6 Копии листов (измененных, дополнительных и выпущенных вместо замененных листов) рабочей документации направляют организациям, которым ранее были направлены копии документов, одновременно с копиями общих данных соответствующего основного комплекта рабочих чертежей, уточненных в соответствии с 7.1.3.

##### **7.1.2 Разрешение на внесение изменений**

7.1.2.1 Изменение документа (в том числе его аннулирование) выполняют на

основании разрешения на внесение изменений (далее – разрешение), составленного по форме 9 приложения Л.

7.1.2.2 Разрешение утверждает руководитель организации-разработчика документа или другое уполномоченное должностное лицо. Разрешение является внутренним документом организации-разработчика и рассылке не подлежит.

Разрешение является основанием для получения подлинников документов для внесения в них изменений.

7.1.2.3 Изменения на каждый документ (например, основной комплект рабочих чертежей, спецификацию оборудования, изделий и материалов) оформляют отдельным разрешением.

Допускается составлять одно общее разрешение на изменения, вносимые одновременно в несколько документов, если изменения взаимосвязаны или одинаковы для всех изменяемых документов.

### **7.1.3 Внесение изменений**

7.1.3.1 Изменения обозначают порядковыми номерами (1, 2, 3 и т.д.). Один порядковый номер изменения присваивают всем изменениям, которые вносят в документ по одному разрешению. Его указывают для всего документа, независимо от того, на скольких листах он выполнен.

7.1.3.2 Изменения в подлинники документов вносят зачеркиванием, подчисткой (смывкой) или закрашиванием белым цветом. При этом учитывают физическое состояние подлинника.

7.1.3.3 Изменение документа, выполненного автоматизированным способом, осуществляют заменой (перевыпуском) всего документа в целом или его отдельных листов (страниц), а также добавлением или исключением отдельных листов.

Допускается вносить изменения в эти документы рукописным способом.

7.1.3.4 После внесения изменений изображения, буквы, цифры, знаки должны быть четкими, толщина линий, величина просветов и т.п. должны быть выполнены по правилам, предусмотренным соответствующими стандартами ЕСКД, при этом должна быть обеспечена возможность изготовления копий документации надлежащего качества способами репрографии.

7.1.3.5 Изменяемые размеры, слова, знаки, надписи и т.д. зачеркивают сплошными тонкими линиями и рядом проставляют новые данные.

7.1.3.6 При изменении изображения (части изображения) его обводят сплошной тонкой линией, образующей замкнутый контур, и крестообразно перечеркивают сплошными тонкими линиями в соответствии с рисунком 15.

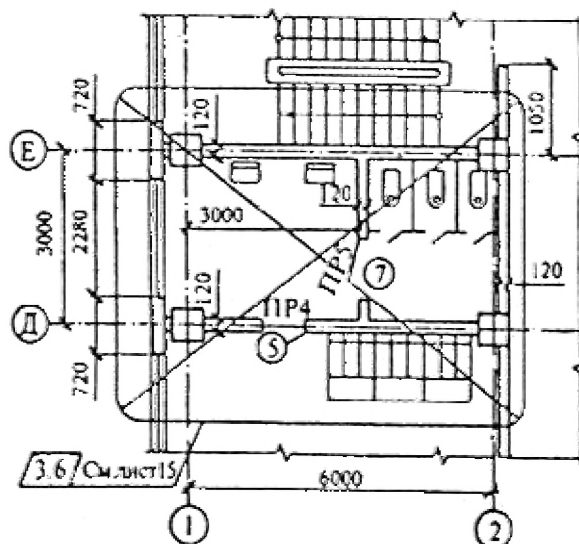


Рисунок 15

Новое изображение измененного участка выполняют на свободном поле листа или на другом листе без поворотов.

7.1.3.7 Изменяемым, аннулируемым и дополнительным участкам изображения присваивают обозначение, состоящее из порядкового номера очередного изменения документа и через точку порядкового номера изменяемого (аннулируемого, дополнительного) участка изображения в пределах данного листа. При этом новому изображению измененного участка присваивают обозначение изменения замененного изображения.

7.1.3.8 Обозначение изменения наносят в параллелограмме за пределами изображения около каждого изменения (см. рисунок 15), в том числе около изменения, исправленного подчисткой (смывкой) или закрасиванием белым цветом.

От параллелограмма проводят сплошную тонкую линию к измененному участку.

7.1.3.9 Если новое изображение измененного участка размещают на другом листе, то присвоенное ему обозначение изменения сохраняют и в таблице изменений этого листа не учитывают.

7.1.3.10 Близко расположенные друг от друга измененные размеры, слова, знаки, надписи и т.д. обводят сплошной тонкой линией, образующей замкнутый контур, без перечеркивания в соответствии с рисунком 16.

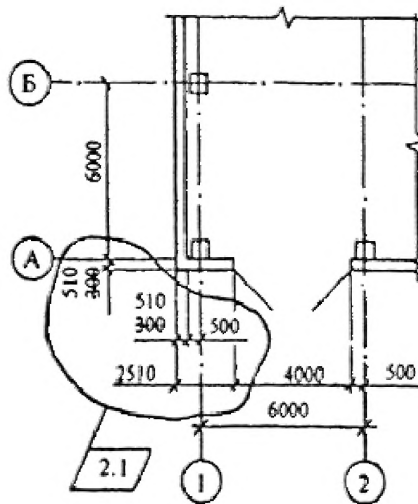


Рисунок 16

7.1.3.11 Над новым изображением измененного участка помещают в параллелограмме обозначение изменения замененного изображения, а при параллелограмме указывают: «Взамен перечеркнутого».

Если новое изображение измененного участка помещают на другом листе, то при параллелограмме указывают: «Взамен перечеркнутого на листе (номер листа, на котором находится замененное изображение)» в соответствии с рисунком 17, при этом у замененного изображения указывают номер листа, на котором находится новое изображение (см. рисунок 15).

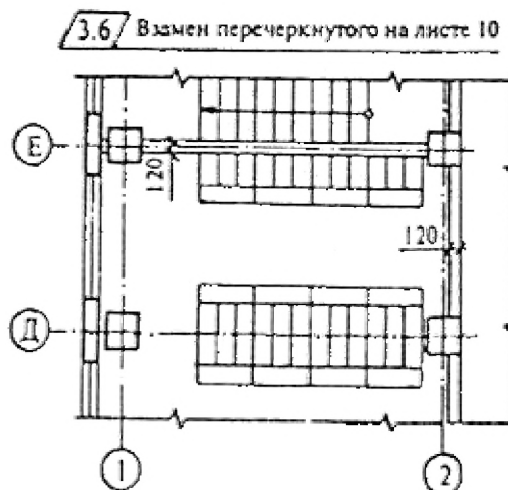


Рисунок 17

7.1.3.12 Если новое изображение измененного участка помещают около замененного, то их соединяют линиями-выносками с обозначением изменения в соответствии с рисунком 18.

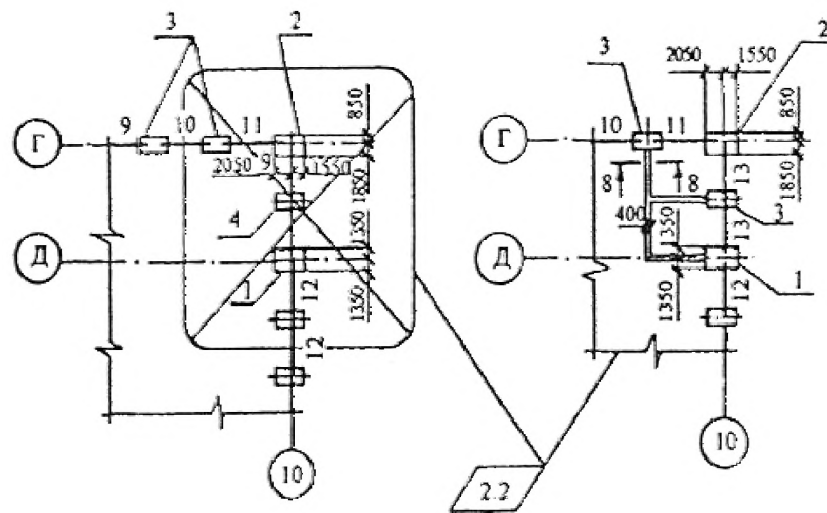


Рисунок 18

Над дополнительным изображением помещают в параллелограмме обозначение изменения, а при параллелограмме указывают: «Дополнение» в соответствии с рисунком 19.

7.1.3.13 При аннулировании изображения (части изображения) при обозначении изменения указывают: «Аннулировано».

7.1.3.14 Если недостаточно места для внесения изменений или возможно нарушение четкости изображения при исправлении, то изготовляют новый подлинник с учетом вносимых изменений и сохраняют его прежнее обозначение.

Если заменяют или добавляют один или несколько листов подлинника, то на них сохраняют инвентарный номер, присвоенный подлиннику.

При замене всех листов подлинника ему присваивают новый инвентарный номер.

7.1.3.15 При внесении изменений в листы основного комплекта рабочих чертежей в ведомости рабочих чертежей этого комплекта на листах общих данных в графе «Примечание» указывают:

а) при внесении первого изменения – «Изм. 1».

При внесении последующих изменений – дополнительно очередные номера изменений,

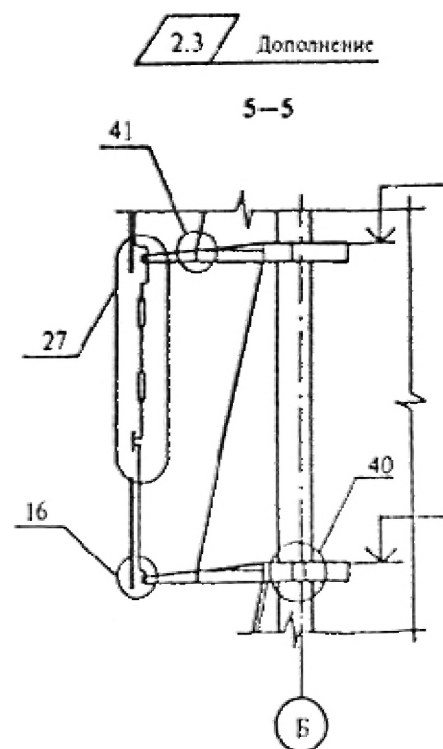


Рисунок 19



отделяя их от предыдущих точкой с запятой.

**Пример – Изм. 1; 2; 3**

б) на замененных листах при номере изменения – «(Зам.)».

**Пример – Изм. 1 (Зам.)**

в) на аннулированных листах при номере изменения – «Аннулирован».

**Пример – Изм. 1 (Аннулирован)**

г) на дополнительных листах при номере изменения – «(Нов.)»

**Пример – Изм. 1 (Нов.)**

7.1.3.16 Если в основной комплект рабочих чертежей включают дополнительные листы, то им присваивают очередные порядковые номера и записывают в продолжение ведомости рабочих чертежей соответствующего основного комплекта.

При недостатке места в ведомости рабочих чертежей для записи дополнительных листов продолжение ведомости переносят на первый из дополнительных листов. При этом в конце ведомости рабочих чертежей, помещенной в «Общих данных», делают запись: «Продолжение ведомости см. на листе (номер листа)», а над ведомостью на дополнительном листе помещают заголовок: «Ведомость рабочих чертежей основного комплекта (Продолжение)».

Номера и наименования аннулированных листов в ведомости рабочих чертежей зачеркивают.

При изменении наименований листов вносят соответствующие изменения в графу «Наименование».

7.1.3.17 При изменении общего количества листов документа на его первом листе в основной надписи вносят соответствующие изменения в графу «Листов».

7.1.3.18 При выполнении дополнительных и аннулировании ранее выполненных прилагаемых документов вносят исправления в ведомость ссылочных и прилагаемых документов соответствующего основного комплекта рабочих чертежей.

7.1.3.19 При выполнении дополнительных и аннулировании ранее выполненных основных комплектов рабочих чертежей вносят исправления в ведомость основных комплектов рабочих чертежей.

7.1.3.20 Изменения, внесенные в подлинник, указывают в таблице изменений, помещенной в основной надписи, а при недостатке места – в дополнительной таблице к ней (см. 5.2.5).

7.1.3.21 В таблице изменений указывают:

а) в графе «Изм.» – порядковый номер изменения документа;

б) в графе «Кол. уч.» – количество изменяемых участков изображения на данном листе в пределах очередного изменения;

в) в графе «Лист» – на листах, выпущенных вместо замененных, – «Зам.», на листах, добавленных вновь, – «Нов.».



При замене всех листов подлинника (при очередном порядковом номере изменения документа) на первом листе в графе «Лист» указывают «Все». При этом таблицу изменений на других листах этого подлинника не заполняют.

В остальных случаях в графе «Лист» ставят прочерк;

г) в графе «№ док.» – обозначение разрешения;

д) в графе «Подп.» – подпись лица, ответственного за правильность внесения изменения (подпись лица, ответственного за нормоконтроль, проставляют на поле для подшивки листа);

е) в графе «Дата» – дату внесения изменения.

7.1.3.22 В таблицах изменений на листах общих данных не учитывают исправления, внесенные в ведомости общих данных в связи с внесением изменений в листы основного комплекта и прилагаемые документы.

7.1.3.23 Значительные изменения в текстовых документах вносят одним из следующих способов:

– заменой всех или отдельных листов документа;

– выпуском новых дополнительных листов.

При изменении подлинников текстовых документов допускается при добавлении нового листа присваивать ему номер предыдущего листа с добавлением очередной арабской цифры, отделяя ее от предыдущей точкой.

### ***Пример – 3.1***

В этом случае на первом листе изменяют общее количество листов.

В текстовых документах, содержащих в основном сплошной текст, допускается при добавлении нового пункта присваивать ему номер предыдущего пункта с добавлением очередной строчной буквы русского алфавита, а при аннулировании пункта – сохранять номера последующих пунктов.

7.1.3.24 При внесении изменений в текстовые документы таблицу изменений заполняют на листах (листе):

– первом (заглавном) нового подлинника, изготовленном в целом взамен старого;

– измененных;

– выпущенных вместо замененных;

– добавленных вновь.

7.1.3.25 При аннулировании или замене листов документа на всех аннулированных и замененных листах подлинника проставляют штамп «Аннулирован (заменен)» по форме, приведенной в приложении Г ГОСТ Р 21.1003, который заполняют согласно указаниям, приведенным там же.

## **7.2 Внесение изменений в проектную документацию**

7.2.1 Изменения в проектную документацию, ранее переданную заказчику, как правило, вносят путем переделки (выпуска новой версии) томов и документов, входящих в эту документацию, с изменением обозначения томов и документов, входящих в них, путем добавления к ним через дефис индекса «Изм.» и порядкового номера изменения (версии) тома или документа.

### **Пример – 2354-ПЗ1.1–Изм.1,**

где 2354-ПЗ1.1 – первоначальное обозначение тома проектной документации;  
Изм. – индекс версии документа;  
1 – порядковый номер изменения (версии) документа.

7.2.2 Изменения в проектную документацию вносят на основании разрешения на внесение изменений (см. 7.1.2). Основаниями для внесения изменений могут быть замечания и дополнительные требования заказчика, замечания согласующих органов исполнительной власти, замечания и отрицательные заключения органов негосударственной и государственной экспертизы.

7.2.3 Изменения в утвержденную проектную документацию, связанные с изменением параметров объекта строительства и необходимостью переутверждения проектной документации, вносят по решению заказчика на основе нового задания на проектирование или дополнения к ранее утвержденному заданию на проектирование.

7.2.4 В первом разделе текстовой части, входящей в измененный том, приводят сведения о внесенных изменениях: основание для внесения изменений, краткое описание внесенных изменений.

7.2.5 Если изменения в проектную документацию вносят на основании отрицательного заключения государственной экспертизы, то в раздел «Пояснительная записка» в качестве приложения включают справку с описанием изменений, внесенных в проектную документацию, по установленной форме. Справка должна быть подписана главным инженером проекта.

7.2.6 Незначительные изменения в проектную документацию (например, замену нескольких страниц текста или отдельных чертежей), допускается производить без изменения обозначений томов и входящих в них документов.

Регистрацию изменений в текстовой части проектной документации производят в таблице регистрации изменений по форме 11 приложения Н, которую помещают на последнем листе текстовой части при внесении первого изменения. Сведения о замене листов графических документов приводят в графе «Примечание» содержания тома, выполняемого в соответствии с 8.6.

7.2.7 При внесении изменений в электронные документы (в том или во входящие в него документы) любое изменение индексируется как новая версия документа и тома.

## **8 Правила оформления сброшюрованной документации**

8.1 Копии текстовых и графических материалов проектной документации, а также отчетной технической документации по инженерным изысканиям брошюруют в тома, сложенными по формату А4 ГОСТ 2.301.

8.2 Копии документов рабочей документации для передачи заказчику комплектуют в папки полистно, сложенными по формату А4, или брошюруют в тома в соответствии с 8.1, как правило, отдельно по основным комплектам рабочих чертежей.

Допускается комплектовать копии рабочих документов в альбомы, сложенными по формату А3.

8.3 Каждый документ, том или альбом, предназначенный для брошюровки, а также папку со сложенными в неё документами, оформляют обложкой по форме 12, приведенной в приложении П (с учетом особенностей заполнения формы для обложки). Обложку не нумеруют и не включают в общее количество листов.

8.4 Первым листом сброшюрованного документа или тома, состоящего из нескольких документов, а также альбома или папки с рабочей документацией, является титульный лист. Титульный лист выполняют по форме 12 приложения П. Примеры заполнения титульных листов приведены на рисунках Р.1 и Р.2 приложения Р.

В томе проектной документации, состоящем из нескольких самостоятельных документов, включая текстовую часть, титульный лист к текстовой части не выполняют.

8.5 Все листы сброшюрованного документа нумеруют сквозной нумерацией листов, начиная с титульного листа. При этом титульный лист не нумеруют.

Номер листа на листах текстовых и графических документов указывают в правом верхнем углу рабочего поля листа (см. приложение И).

Кроме того, текстовые и графические документы, включенные в том (альбом) и имеющие самостоятельное обозначение, должны иметь порядковую нумерацию листов в пределах документа с одним обозначением (в основной надписи или в соответствии с 4.1.8).

8.6 При комплектовании нескольких документов в виде тома, альбома, а также в папку, после титульного листа приводят содержание тома (альбома, папки), которое является перечнем документов, входящих в том (альбом, папку). Содержание выполняют на листах формата А4 по форме 2 приложения Г.

Документы в содержании записывают в последовательности их комплектования в том, альбом или папку. Обложку и титульный лист в содержание не записывают.

Первый лист содержания тома (альбома, папки) оформляют основной надписью по форме 5 приложения Ж, последующие – по форме 6 приложения Ж. Содержанию присваивают обозначение, состоящее из обозначения тома (альбома, папки) и шифра «С».

**Пример – 2345-ПЗУ2С; 2345-11-КЖ.ИС; 2345-11-ОВ.ОЛС, 2345-11-ТХ.НС**

В графе 5 основной надписи указывают «Содержание тома» или, соответственно, «Содержание альбома» и «Содержание папки», и далее – номер соответствующего тома, альбома или папки (при наличии).

8.7 Титульные листы томов проектной документации оформляют подписями:

- руководителя или главного инженера организации;
- главного инженера (архитектора) проекта.

Титульный лист технического отчета по инженерным изысканиям дополнительно заверяют печатью организации - исполнителя инженерных изысканий.

Титульные листы рабочих документов оформляют подписью ответственного лица – главного инженера (архитектора) проекта.

8.8 Состав проектной документации согласно 4.1.2 или состав отчетной технической документации по инженерным изысканиям приводят в ведомости, выполняемой по форме 13 приложения С на листах формата А4.

В ведомости приводят последовательный перечень томов проектной или отчетной технической документации по инженерным изысканиям.

Первый лист ведомости оформляют основной надписью по форме 5 приложения Ж, последующие – по форме 6 приложения Ж.

Составу проектной документации присваивают обозначение, состоящее из базового обозначения проектной документации и через дефис шифра «СП».

***Пример – 2345–СП***

Составу отчетной технической документации по инженерным изысканиям присваивают обозначение, состоящее из базового обозначения документации и через дефис шифра «СД».

***Пример – 2344–СД.***

## ***Роль и место технических расчетов при выполнении проектов***

### **Конструкторские проработки энергетического оборудованию ТЭС**

#### Понятие конструирования

---

Внутри процесса проектирования, наряду с расчетными этапами и экспериментальными исследованиями, часто выделяют процесс конструирования.

**Конструирование** — деятельность по созданию материального образа разрабатываемого объекта, ему свойственна работа с натурными моделями и их графическими изображениями (чертежи, эскизы, компьютерные модели). Эти модели и изображения, а также некоторые виды изделий называют **конструкциями**. Например, конструирование форм одежды, конструирование интерьеров, разработка конструкции машины, конструктивные и объёмно-планировочные решения объекта капитального строительства, металлоконструкция, строительные конструкции.

Слово «конструкция» часто употребляется в значении «структура», «устройство», например, конструкция предложения в лингвистике или организация эстетического материала в искусстве.

Конструирование может осуществляться:

- вручную при помощи чертёжных инструментов, например, кульмана (чертёжного стола);
- автоматизированно — при помощи систем автоматизации проектных работ (САПР);
- автоматически (без участия человека) при помощи Интеллектуальной информационной системы.

Можно привести следующие примеры видов проектирования по отраслям деятельности:

- проектирование инженерных систем (вентиляции, газопроводов, электросетей и др. инфраструктуры);
- архитектурно-строительное проектирование;
- градостроительное проектирование;
- дизайн интерьера;
- ландшафтный дизайн;
- проектирование программного обеспечения;
- и т.д.

#### **Разновидность моделей конструирования (проектирования)**

##### **Функциональное проектирование**

Любой объект служит лишь материальным носителем функции, то есть функция — первична, объект — вторичен и создается по причине невозможности иными, нематериальными средствами удовлетворить потребности людей. Так, автомобиль нужен для перевозки грузов и людей (функция — перемещать в пространстве, создан вследствие нереальности

перемещения предметов только усилием мысли), назначение ручки — писать, а книги — хранить информацию и т. д.

Наряду со словом «функция» часто используется слово «назначение», особенно при рассмотрении не технических объектов.

**Функциональное проектирование** нацелено, прежде всего, на создание эффективно работающего объекта. Выполнение требуемой функции — главная цель и основа разработки объекта. Во внимание принимаются, прежде всего, функциональные показатели качества и показатели надёжности.

### **Оптимальное проектирование**

Процесс проектирования всегда подчинён необходимости учёта интересов двух групп людей: производителей и потребителей продукции (товаров, работ, услуг). Каждая из групп стремится к удовлетворению своих требований к продукции, часть из которых может быть взаимоисключающей. Также, процесс решения практической задачи всегда многовариантен, и перед разработчиком встаёт проблема аргументированного выбора окончательного варианта. Например, автомобиль должен не только обладать высокой скоростью и мощностью двигателя, но и низкой стоимостью, комфортабельностью, экологичностью, быть выгодным для производителя и т. д.

Проектирование, целью которого является не только поиск функционально эффективных решений, но и удовлетворение разных, порой противоречивых потребностей людей, обоснованный выбор окончательного варианта, стали называть **оптимальным проектированием** (*критериальным проектированием, вариантным проектированием*). Активно оно начало применяться со второй половины 20 века благодаря достижениям теории принятия решений и теории исследования операций и широкому распространению вычислительной техники, позволившим разработать соответствующие методы, в обозримые сроки просчитывать многочисленные варианты и решать сложные математические задачи.

Большое значение в оптимальном проектировании отводится подготовке на этапе технического задания полного перечня требований к разрабатываемому объекту, выделению среди них показателей качества и преобразованию наиболее важных из них в критерии оптимизации. Показателен в этой связи девиз одной японской фирмы — «Мы не создаем технику, мы создаем человека».

К типovým требованиям к научно-технической продукции относят требования функциональные (показатели назначения), надёжности, технологичности, стандартизации и унификации, ограничения вредных воздействий (эргономичность и экологичность), эстетичность, экономичность, патентно-правовые. Требования к другим видам продукции во многом совпадают с перечисленными.

### **Системное проектирование**

К концу XX века не только существенно возросла сложность проектируемых объектов, но и их воздействие на общество и окружающую

среду, тяжесть последствий аварий из-за ошибок разработки и эксплуатации, высокие требования к качеству и цене, сокращению сроков выпуска новой продукции. Необходимость учёта этих обстоятельств заставляла вносить изменения в традиционный характер и методологию проектной деятельности.

При создании объектов их уже необходимо было рассматривать в виде *систем*, то есть комплекса взаимосвязанных внутренних элементов с определенной структурой, широким набором свойств и разнообразными внутренними и внешними связями. Сформировалась новая проектная идеология, получившая название системного проектирования.

**Системное проектирование** комплексно решает поставленные задачи, принимает во внимание взаимодействие и взаимосвязь отдельных объектов-систем и их частей как между собой, так и с внешней средой, учитывает социально-экономические и экологические последствия их функционирования. Системное проектирование основывается на тщательном совместном рассмотрении объекта проектирования и процесса проектирования, которые в свою очередь включают ещё ряд важных частей.

Основные части проектирования

### **Принципы системного проектирования**

Системное проектирование должно базироваться на системном подходе. На сегодняшний день нельзя утверждать, что известен его полный состав и содержание применительно к проектной деятельности, однако можно сформулировать наиболее важные из них:

- Практическая полезность:
- деятельность должна быть *целенаправленной*, устремленной на удовлетворение действительных потребностей реального потребителя или определенной социальной, возрастной или иной групп людей;
- деятельность должна быть *целесообразной*. Важно вскрыть причины, препятствующие использованию существующих объектов для удовлетворения новых потребностей, выявить вызывающие их ключевые противоречия и сконцентрировать усилия на решении главных задач;
- деятельность должна быть *обоснованной и эффективной*. Разумным будет использование не любого решения задачи, а поиск оптимального варианта;
- Единство составных частей:
- целесообразно любой объект, сложный ли он или простой, рассматривать как *систему*, внутри которой можно выделить логически связанные более простые части — подсистемы, единство частных свойств которых и образует качественно новые свойства объекта-системы;
- разрабатываемые объекты предназначены для людей, ими создаются и эксплуатируются. Поэтому человек также обязан рассматриваться в качестве одной из взаимодействующих систем. При этом должно приниматься во внимание не только физическое взаимодействие, но и духовно-эстетическое воздействие;



- внешняя, или как её ещё называют — *жизненная среда*, также должна рассматриваться в качестве системы, взаимосвязанной с проектируемым объектом;

- Изменяемость во времени;
- учёт этапов жизненного цикла объекта;
- учёт истории и перспектив развития и применения разрабатываемого объекта, а также областей науки и техники, на достижениях которых базируются соответствующие разработки.

### **Нисходящее и восходящее проектирование**

Ведение разработки объекта последовательно от общих черт к детальным называется *нисходящим проектированием*. Его результатом будут требования к отдельным частям и узлам. Возможен ход разработки от частного к общему, что образует процесс *восходящего проектирования*. Такое проектирование встречается, если одна или несколько частей уже являются готовыми (покупными или уже разработанными) изделиями.

Нисходящее и восходящее проектирование обладают своими достоинствами и недостатками. Так, при нисходящем проектировании возможно появление требований, впоследствии оказывающихся нереализуемыми по технологическим, экологическим или иным соображениям. При восходящем проектировании возможно получение объекта, не соответствующего заданным требованиям. В реальной жизни, вследствие итерационного характера проектирования, оба его вида взаимосвязаны.

Например, разрабатывая при нисходящем проектировании автомобиль (от общей схемы к его частям, например, — к мотору), необходимо увязать общую компоновку с размерами и мощностью уже выпускаемых двигателей. В противном случае придётся разрабатывать применительно к данной компоновке новый двигатель, либо изменять первоначальные варианты его расположения или схему компоновки всего автомобиля.

### **Структура проектирования**

Проектирование, как осознанная целенаправленная деятельность, обладает определённой структурой, то есть последовательностью и составом стадий и этапов разработки проекта, совокупностью процедур и привлекаемых технических средств, взаимодействием участников процесса.

В настоящее время существуют два представления структуры проектирования, подобные по форме, но различные по целям и подходам к деятельности. Это — структура в виде стадий разработки проектной документации (стадий проектирования) и структура процесса проектирования.

### **Стадии проектирования**

Стадии разработки проектной документации

Стадии проектирования регламентированы стандартами [ГОСТ 2.103-2013](#)<sup>[6]</sup> и [ГОСТ Р 15.201-2000](#)<sup>[7]</sup>. Последовательность выполнения всех стадий образует официальную структуру процесса разработки проектной документации, которая, как правило, используется при официальных



взаимоотношениях между заказчиком и исполнителем или между соисполнителями работ. Сама документация необходима для отчёта перед заказчиком о проделанной работе, возможности проверки или повторения разработок другими исполнителями, подготовки производства и обслуживания изделия в период эксплуатации.

Стадии создания других систем регламентируются своими стандартами, например, для автоматизированных систем — ГОСТ 34.601-90<sup>[8]</sup>.

Структура устанавливает стадии разработки конструкторской документации на изделия всех отраслей промышленности и этапы выполнения работ внутри каждой стадии, то есть состав документации и виды работ, что помогает ответить на вопрос «Что нужно делать?» в процессе проектирования. Основные стадии структуры включают:

- *Эскизный проект* (ЭП) — совокупность документов, содержащих принципиальные решения и дающих общее представление об устройстве и принципе работы разрабатываемого объекта, а также данные, определяющие его назначение, основные параметры и габаритные размеры. В случае большой сложности объекта этому этапу может предшествовать *аван-проект* (предпроектное исследование), обычно содержащий теоретические исследования, предназначенные для обоснования принципиальной возможности и целесообразности создания данного объекта.

При необходимости на стадии ЭП проводят изготовление и испытание макетов разрабатываемого объекта.

- *Технический проект* (ТП) — совокупность документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве проектируемого объекта, исходные данные для разработки рабочей документации.

- На *стадии рабочего проекта* (РП) сначала разрабатывают подробную документацию для изготовления опытного образца и последующего его испытания. Испытания проводят в ряд этапов (от заводских до приёмо-сдаточных), по результатам которых корректируют проектные документы. Далее разрабатывают рабочую документацию для изготовления установочной серии, её испытания, оснащения производственного процесса основных составных частей изделия. По результатам этого этапа снова корректируют проектные документы и разрабатывают рабочую документацию для изготовления и испытания головной (контрольной) серии. На основе документов окончательно отработанных и проверенных в производстве изделий, изготовленных по зафиксированному и полностью оснащённому технологическому процессу, разрабатывают завершающую рабочую документацию установившегося производства.

- Завершает цикл работ этап, подводящий итог проектной деятельности, — сертификация. Её назначение — определение уровня качества созданного изделия и подтверждение его соответствия требованиям тех стран, где предполагается его последующая реализация. Необходимость

выделения этого этапа в виде самостоятельного вызвана тем, что в настоящее время экспорт продукции или её реализация внутри страны во многих случаях недопустимы без наличия у неё сертификата качества. Сертификация может быть обязательной или добровольной. Обязательной сертификации подлежат товары, на которые законами или стандартами установлены требования, обеспечивающие безопасность жизни и здоровья потребителей, охрану окружающей среды, предотвращение причинения вреда имуществу потребителя. Добровольная сертификация проводится по инициативе предприятий. Обычно это делается с целью официального подтверждения характеристик продукции, изготавливаемой предприятием, и, как следствие, повышения доверия к ней у потребителей.

В процессе разработки проектной документации в зависимости от сложности решаемой задачи допускается объединять между собой ряд этапов. Этапы постановки ТЗ и технического проектирования могут входить в цикл научно-исследовательских работ (НИР), а этапы технического предложения и эскизного проектирования — образовывать цикл опытно-конструкторских работ (ОКР).

### **Структура процесса проектирования**

Процесс решения задачи проектирования

Проектирование — это ещё и целенаправленная деятельность, которая обладает последовательностью процедур, ведущих к достижению эффективных решений. Соответственно, должна быть структура процесса решения задачи проектирования, которая помогает ответить на вопрос «Как это делать?». В настоящее время предложен ряд структур и алгоритмов проектирования, совпадающих в основных чертах и различающихся только в содержании или названии отдельных этапов.

Решение любой задачи начинается с её осмысления и уточнения исходных данных. Те (технические) требования (ТТ), которые выдаются заказчиком, формулируются на языке потребителя-неспециалиста и не всегда бывают технически чёткими и исчерпывающими. Перевести требования на язык предметной области, сформулировать задачу максимально полно и грамотно, обосновать необходимость её решения, то есть сформулировать техническое задание (ТЗ), — первый и обязательный этап работы. Исполнитель выполняет его в тесном контакте с заказчиком.

В машиностроении этот этап иногда называют *внешним проектированием*. Этим подчеркивают, что разработка объекта уже начинается с постановки задачи (ТТ) и формирования ТЗ и активно ведётся совместно с заказчиком. Важным результатом этапа является согласование целей разработки и назначения проектируемого объекта (его функций), системы показателей качества.

Следующие этапы образуют *внутреннее проектирование*. Они нацелены на поиск решения задачи и выполняются разработчиком. Сюда входят этапы синтеза принципа действия, структуры и параметров проектируемого объекта:

- На этапе синтеза принципа действия отыскивают принципиальные положения, физические, социальные и т. п. эффекты, которые составят основу функционирования будущего изделия. Это могут быть основополагающие нормы, фундаментальные законы и правила, их частные случаи или следствия. Работа ведётся с принципиальными моделями и их графическим представлением — блок-схемами. Этому этапу соответствует заключительная стадия ТЗ и стадия технического предложения структуры проектирования по ГОСТ 2.103;

- На этапе структурного синтеза на основе выбранного принципа действия создаются варианты начального графического представления объекта — структуры, схемы, алгоритмы, упрощённые эскизы. В соответствии с ГОСТ 2.103 этот этап включает стадию эскизного проектирования;

- На этапе параметрического синтеза отыскиваются значения параметров объекта, находится численное, в том числе оптимальное, решение проектной задачи, создаётся подробная документация или описание объекта, чертежи изделия и его частей. Этот этап соответствует стадиям технического и рабочего проектирования.

Вследствие неполноты начальных знаний о задаче процесс проектирования — итеративен, с каждым циклом итерации цели проектирования всё более уточняются, появляется необходимость в дополнительных функциях и, как следствие, — потребность в разработке дополнительных частей и узлов. Решение частных проектных задач, дополняющих основное решение, также проводится в соответствии с представленной последовательностью.

На каждом этапе внутреннего проектирования выполняются следующие процедуры:

- выбор модели (то есть основополагающего принципа, вида блок-схемы и расчетной схемы),
- выбор метода решения, в том числе метода оптимизации,
- решение,
- анализ полученных результатов и принятие решения.

Замечено, что эффективность проектируемого объекта определяется: в первую очередь — выбранным принципом действия, во вторую — предложенной структурой и в третью — соотношением параметров.

## **Трубопроводные системы энергетических объектов**

## Раздел первый

# СТАНЦИОННЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ, ИХ НАГРУЗКИ И ДЕФОРМАЦИИ

### 1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Трубопроводы тепловых электрических станций служат связями между отдельными элементами тепловой схемы (котлом и турбиной, вспомогательным оборудованием и т. д.). В основном по этим трубопроводам транспортируются пар и вода, но для части из них рабочими средами являются масло, мазут, сжатый воздух, водород.

Трубопроводы на современных крупных тепловых электрических станциях являются сложными конструкциями и состоят из следующих основных элементов и устройств: собственно труб (прямых и гнутых) и средств соединения их между собой (фланцев, сварных соединений); фасонных частей (тройников, колен, переходов и др.); трубопроводной арматуры (запорной, регулирующей, автоматической и др.); трубопроводных элементов КИП (измерительных сопел и диафрагм, штуцеров для присоединения манометров и др.); защитных устройств (предохранительных клапанов, дренажей, воздушников); опор и подвесок для крепления трубопроводов; трубопроводы с температурой среды 300 °С и выше, кроме того, имеют указатели температурных перемещений трубопровода, контрольные участки для структурных исследований материала труб трубопровода, бобышки для замера ползучести и др. В отдельных случаях должны предусматриваться: площадки и лестницы для эксплуатационного обслуживания и ремонта отдельных устройств трубопроводов (контрольных участков, арматуры и др.), когда последние нельзя обслужить с площадок других сооружений; тепловая изоляция наружных поверхностей трубопроводов; защита от коррозии внутренних или наружных поверхностей трубопровода (например, для некоторых трубопроводов химводоочистки, трубопроводов тепловых сетей и др.); специальные устройства, связанные с автоматизацией тепловых процессов на электростанции (автоматические клапаны, колонки КДУ, датчики и др.)

В зависимости от параметров (давления и температуры) транспортируемой среды стационарные трубопроводы делятся на две основные группы — высокого и низкого давления. Большинство трубопроводов тепловых электростанций подведомственны Госгортехнадзору СССР, некоторые из них

подлежат обязательной регистрации в его местных органах (см. разд. 8); часть трубопроводов не подведомственна Госгортехнадзору СССР, но его Правила на них также распространяются. В целях унификации отдельных деталей и элементов стационарных трубопроводов и обеспечения изготовления и поставки их специализированными заводами разработаны отраслевые стандарты (ОСТ, МВН и ОН) на основные детали и элементы трубопроводов. Учитывая особенности условий работы и поставки трубопроводов, отраслевые стандарты выпускают отдельно для трубопроводов высокого и низкого давлений.

Все стационарные трубопроводы должны отвечать требованиям соответствующих правил и норм (см. список литературы), а также требованиям положений, технических условий, противоаварийных циркуляров и других нормативных документов. В трубопроводах должны максимально использоваться стандартизированные детали и элементы по отраслевым стандартам и ГОСТ, допустимым для условий работы стационарных трубопроводов.

Нормативные документы, правила, ОСТ, ГОСТ и МВН подвергаются периодическим пересмотрам, исправлениям и переизданиям, поэтому при их использовании следует обращать внимание на год их утверждения, а не издания (с целью проверки действия этого материала в момент его применения). Требования этих документов обязательно должны учитываться, начиная со стадии выполнения проектной документации.

### 1.2. НАГРУЗКИ И ДЕФОРМАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

Стационарные трубопроводы испытывают на себе различные механические и тепловые нагрузки как со стороны протекающей через них среды, так и от самих трубопроводных устройств и должны выдерживать эти нагрузки без опасных деформаций и разрушений в течение всего срока своей работы. Кроме того, в некоторых случаях на трубопровод могут воздействовать динамические нагрузки (сейсмические или вибрационные); поскольку эти нагрузки достаточно специфичны, воздействие их на трубопровод в настоящем справочнике не рассматривается.

На трубопровод в течение всего времени его эксплуатации действуют следующие постоянные нагрузки: нагрузки от давления транспортируемой среды, распределенные по длине трубопровода и вызывающие в его материале деформации растяжения; нагрузки от веса труб, транспортируемой среды и тепловой изоляции трубопровода (в случае ее наличия), также распределенные по длине трубопровода; нагрузки от веса трубопроводной арматуры, опорных реакций, ответвлений и т. п., сосредоточенные в точках их приложения. Эти нагрузки вызывают в материале трубопровода деформации изгиба, а иногда (в зависимости от конфигурации трубопровода) и кручения. На рис. 1.1 приведена схема трубопровода с ответвлением; под действием веса задвижки и ответвления трубопровод изгибается. Если ответвление будет направлено не вниз, как показано на рис. 1.1, а горизонтально (перпендикулярно плоскости рисунка), то под действием его веса будет скручиваться основной трубопровод между опорами  $B$  и  $B$ .

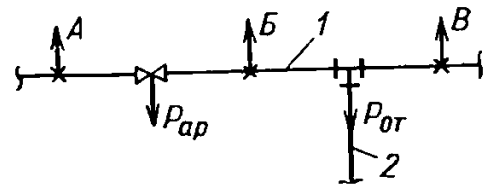


Рис. 1.1. Схема трубопровода с ответвлением: 1 — основной трубопровод; 2 — ответвление;  $A$ ,  $B$  и  $B$  — опоры и опорные реакции трубопровода;  $P_{ар}$  и  $P_{от}$  — вес арматуры и ответвления соответственно

На трубопровод могут действовать также компенсационные нагрузки от его теплового удлинения, распора встроенных компенсаторов трения в опорах и т. п., вызывающие в материале трубопровода деформации изгиба, а иногда (в зависимости от конфигурации трубопровода) также и кручения. Деформация кручения, как правило, возникает в пространственных трубопроводах. На рис. 1.2 показана схема компенсационных нагрузок на примере работы П-образного компенсатора. При тепловом удлинении трубопровода плечи  $a$  и  $b$  компенсатора взаимно изгибают друг друга. Кроме того, в плечах  $a$  возникают сжимающие усилия  $P_{ж}$  от жесткости компенсатора, в опорах  $A$  и  $B$  действуют также нагрузки от силы трения  $N_{тр}$ , весовые нагрузки  $P_{в}$  и другие усилия, возникающие при работе компенсатора. Нагрузки от тепловых удлинений всегда носят сосредоточенный характер и, как правило, приложены к «мертвым» опорам отдельных ветвей трубопровода.

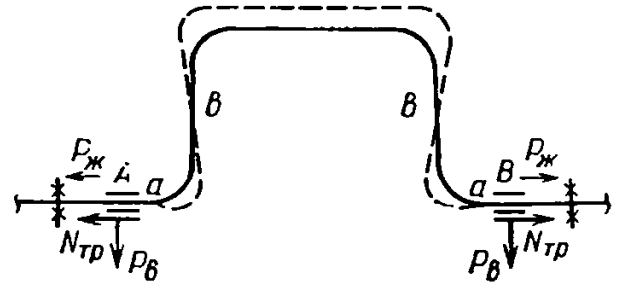


Рис. 1.2. Схема компенсационных нагрузок на примере работы П-образного компенсатора

Некоторые трубопроводы могут нести временные нагрузки, действующие только в период монтажных работ или ремонта. К таким нагрузкам относятся, например,

нагрузки при гидравлическом испытании паропроводов, если не предусмотрены специальные приспособления, воспринимающие эти нагрузки. Возможны также нагрузки от неравномерного прогрева трубопровода при его пуске, заземления опор или чрезмерного трения в них.

К внутренним относятся нагрузки от давления транспортируемой трубопроводом среды, все остальные нагрузки являются внешними.

Таким образом, работа трубопровода происходит под воздействием ряда нагрузок, действующих в различных направлениях и вызывающих в материале сложные напряжения, усугубляемые в иных случаях разупрочнением этого материала под влиянием высоких температур транспортируемой среды.

Способность трубопровода длительно сопротивляться воздействию этих нагрузок без опасных деформаций называется прочностью трубопровода. Последняя определяется разными факторами, в том числе прочностью материала, из которого изготовлены трубы, детали и элементы трубопровода.

## Раздел второй

### ТРУБОПРОВОДНЫЕ СТАЛИ

#### 2.1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ

Как известно из металловедения, железо относится к металлам, имеющим несколько кристаллических форм. Существование одного металла (вещества) в не-

скольких кристаллических формах носит название полиморфизма, или аллотропии. Различные кристаллические формы одного вещества называются полиморфными, или аллотропическими, модификациями.

Переход из одной модификации в другую (так называемые аллотропические

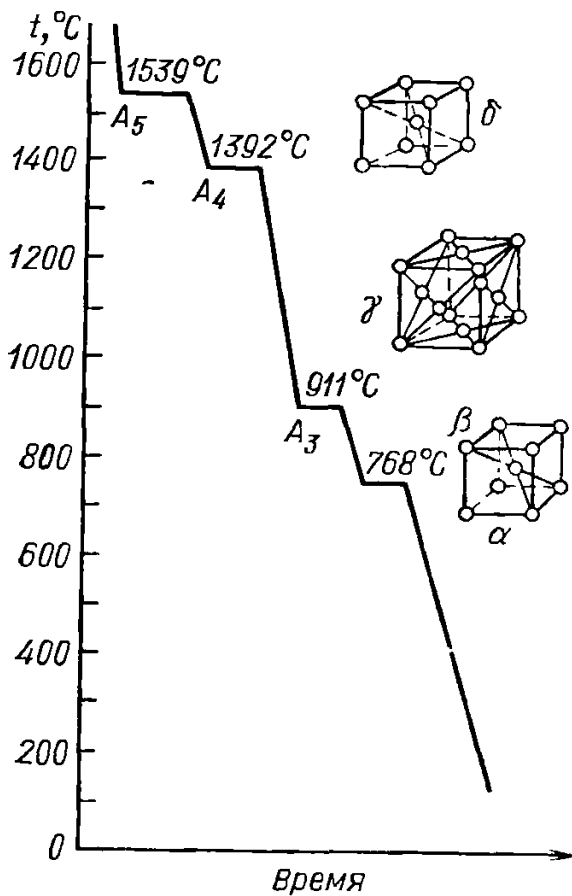


Рис. 2.1. Кривая охлаждения чистого железа

изменения) происходит уже после затвердения сплава при вполне определенных температурах, называемых критическими точками.

Металлы имеют кристаллическую структуру, в которой атомы располагаются в узлах пространственной кристаллической решетки.

Характер кристаллической решетки металла зависит от его температуры. На рис. 2.1 представлена кривая охлаждения чистого железа, на которой показан свойственный различной его температуре тип кристаллической решетки. В точке  $A_5$  при температуре  $1539^\circ\text{C}$  в чистом железе начинается первичная кристаллизация, в результате которой чистое железо затвердевает, образуя кристаллическую решетку объемно-центрированного куба, имеющего помимо основных ионов в углах куба дополнительный ион на пересечении его внутренних диагоналей. В точке  $A_4$  при температуре  $1392^\circ\text{C}$  в твердом железе происходит аллотропическая перекристаллизация, сопровождающаяся превращением его решетки в гранецентрированный куб с дополнительным ионом на пересечениях диагоналей на каждой боковой грани куба (но без внутреннего иона). В точке  $A_3$  при температуре  $911^\circ\text{C}$  кристаллическая решетка этого железа вновь полиморфно превращается в объемно-центрированный куб, который далее и сохраняется в ней при охлаждении до самых низких температур. При

температуре  $768^\circ\text{C}$  в железе происходит лишь изменение его магнитных свойств без изменения типа решетки (при  $t > 768^\circ\text{C}$  железо немагнитно, а при  $t < 768^\circ\text{C}$  оно магнитно).

В интервале температур  $0-768^\circ\text{C}$  структура металла называется  $\alpha$ -железом,  $768-911^\circ\text{C}$  —  $\beta$ -железом,  $911-1392^\circ\text{C}$  —  $\gamma$ -железом,  $1392-1539^\circ\text{C}$  —  $\delta$ -железом.

Так как  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\delta$ -железо имеют одинаковое кристаллическое строение, то в металлосведении обычно рассматриваются только две его основные кристаллические формы или фазы — это  $\alpha$ - и  $\gamma$ -железо.

Помимо разницы в кристаллическом строении  $\alpha$ -железо отличается от  $\gamma$ -железа и тем, что почти не растворяет в себе углерода, в то время как  $\gamma$ -железо способно растворять значительные его количества. Но и  $\alpha$ -, и  $\gamma$ -железо способны растворять в себе другие элементы. При сплавлении железа с углеродом получающиеся сплавы могут образовывать химические соединения, твердые растворы и механические смеси. В сплавах железа с углеродом положение критических точек изменяется в зависимости от содержания углерода. Кроме того, процессы затвердевания сплава (или плавления) и аллотропических превращений одной фазы в другую происходят не в одной определенной точке, как у чистого железа, а в некотором интервале температур.

В результате кристаллизации железоуглеродистых сплавов в образующемся после охлаждения твердом металле возникают следующие фазы, отличающиеся друг от друга характером связи углерода с железом и имеющие разные микроструктуры:

**цементит** (карбид железа) — химическое соединение углерода с железом;

**феррит** — твердый раствор углерода (незначительных количеств) и других элементов в  $\alpha$ -железе;

**аустенит** — твердый раствор углерода и других элементов в  $\gamma$ -железе;

**перлит** — эвтектическая смесь цемента с ферритом (*эвтектикой* называется механическая смесь кристаллов двух или более видов, одновременно кристаллизовавшихся из жидкости);

**ледебурит** — эвтектическая смесь аустенита и цемента.

Наилучшим конструкционным материалом для трубопроводов являются стальные сплавы — механические смеси, так как из-за достаточно высокого уровня внутрискристаллических связей эти материалы достаточно прочны, технологичны при литье, сварке и механической обработке, относительно недороги и в них может быть обеспечена удовлетворительная устойчивость механических свойств при длительном воздействии высоких температур.

Для стационарных трубопроводов наиболее широко применяются углеродистые и низколегированные стали — механические смеси перлитного класса. Имеют применение также высоколегированные однофазные



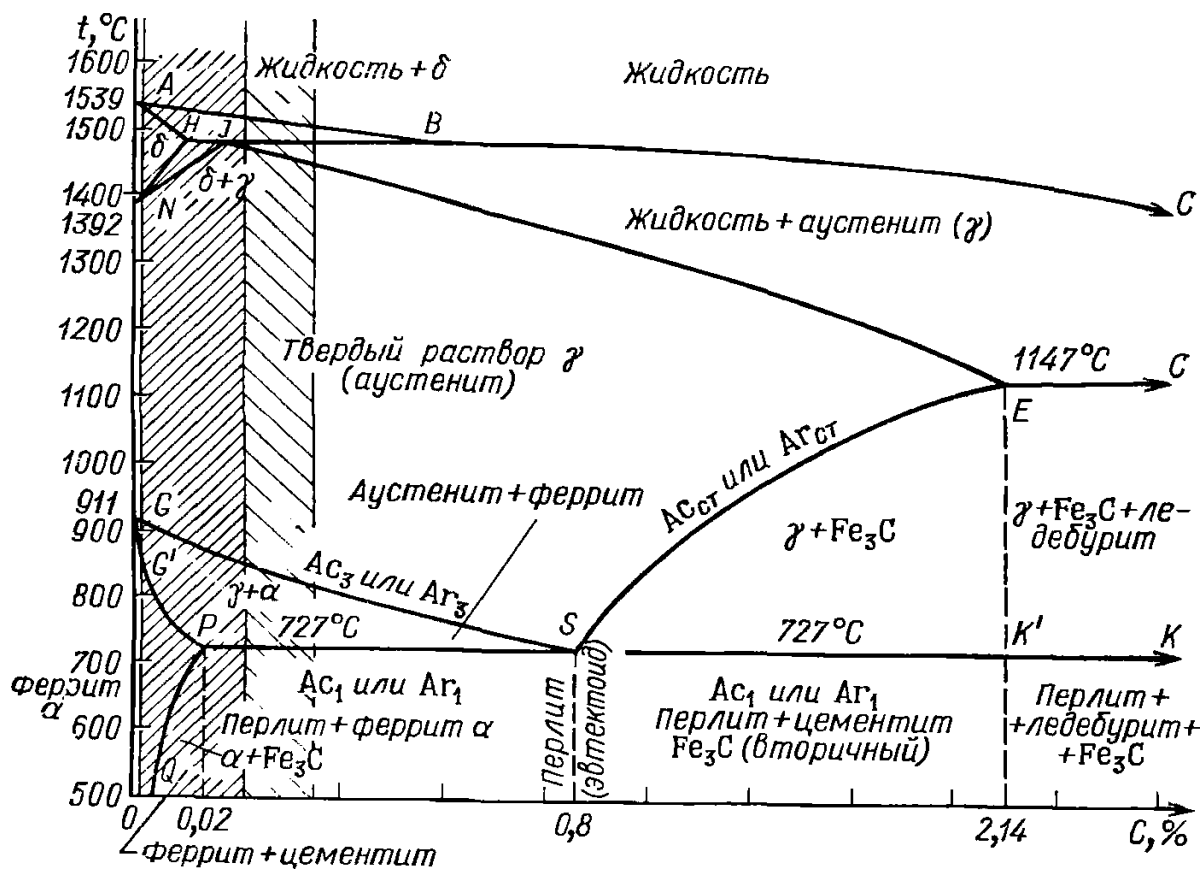


Рис. 2.2. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов для содержания углерода от 0 до 2%

стали — твердые растворы аустенитного класса.

На рис. 2.2 приведена диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов для содержания углерода от 0 до 2,14% с указанием на ней охарактеризованных выше фаз в различных температурных зонах. Выше линии *ABC* (линия «ликвидус») металл находится в жидком состоянии, а ниже линии *ANJES* (линия «солидус») — в твердом состоянии. Площадь *СВАНJES* является областью первичной кристаллизации, когда в жидком металле при охлаждении выпадают частицы твердой фазы. При содержании углерода в стали от 0 до 2,14% металл ниже линии *NJE* имеет чисто аустенитную структуру. На линии *GS* в сталях с  $C < 0,8\%$  начинается аллотропический распад аустенита с выделением в сплаве феррита; на линии *SE* с  $C > 0,8\%$  начинается полиморфное превращение аустенита в цементит. На линии *G'PSK'* указанный распад аустенита заканчивается, и стали с содержанием углерода  $C = 0 \div 0,01\%$  превращаются в чистый феррит, а стали с содержанием  $C = 0,02 \div 0,8\%$  превращаются в механическую смесь феррита и перлита. При  $C = 0,8\%$  аустенит стали превращается в чистый перлит, а при  $C > 0,8\%$  сталь превращается в механическую смесь перлита и цементита. При дальнейшем охлаждении граница чисто ферритной фазы в стали перемещается в область углеродсодержания  $C = 0,01\%$  (точка *Q*).

Сталь с содержанием  $C = 0,8\%$  при  $t = 727^\circ\text{C}$ , превращающаяся в чистый пер-

лит, носит название *эвтектоидной* стали; стали с меньшим содержанием углерода, превращающиеся в смесь перлита и феррита на площади *GSPG'* диаграммы, называются *дозэвтектоидными* сталями; стали с  $C > 0,8\%$ , превращающиеся на площади *ESK'* в смесь перлита и цементита, называются *заэвтектоидными* сталями.

По ряду причин содержание углерода для трубопроводных сталей ограничено интервалом 0,2—0,27%, в связи с чем на рис. 2.2 область сталей по содержанию углерода, применяемых для трубопроводов, выделена штриховкой, причем более мелкой штриховкой выделена область сталей, применяемых для изготовления труб.

На рис. 2.2 отмечены также критические точки (температуры фазовых превращений) в сталях, которые имеют следующие обозначения: *Ac<sub>1</sub>* или *Ar<sub>1</sub>* — линия *PSK'*, соответствующая окончанию распада аустенита в механическую смесь при охлаждении или началу растворения этой смеси в аустените при нагреве стали; *Ac<sub>сг</sub>* или *Ar<sub>сг</sub>* — линия *SE*, соответствующая началу аллотропического превращения аустенита в цементит при охлаждении заэвтектоидных сталей или окончанию растворения цементита в аустените при нагревании этих сталей; *Ac<sub>3</sub>* или *Ar<sub>3</sub>* — линия *GS*, соответствующая началу полиморфного распада аустенита в феррит при охлаждении доэвтектоидных сталей или окончанию растворения  $\alpha$ -фазы в аустените при их нагреве.



## 2.2. ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

### 2.2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Каждая из этих критических точек для одних и тех же сплавов сдвигается на 30—60 °С в зависимости от того, нагревается или охлаждается металл. Это явление называется *тепловым гистерезисом* стали. Чтобы различать критические точки по направлению тепловых процессов, их обозначения снабжаются дополнительными буквами: *c* — для нагрева стали, *r* — для ее охлаждения.

Говоря о фазовых превращениях, в железоуглеродистых сталях следует отметить еще одно явление — изменение размера зерна, происходящее при этих превращениях. Так, например, при нагревании доэвтектоидной стали выше критических точек феррит и перлит переходят в твердый раствор аустенита с перекристаллизацией атомной решетки  $\alpha$ -железа в  $\gamma$ -железо, при этом переход через критические точки  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$  сопровождается образованием новых, очень мелких зерен аустенита независимо от того, каковы были размеры зерен феррита и перлита в исходном состоянии. Благодаря этому при нагреве до критической точки  $A_{c3}$  сталь получает однородную, мелкозернистую структуру. По мере дальнейшего повышения температуры начинается рост аустенитных зерен, который происходит тем быстрее, чем выше температура или чем дольше выдержка при определенной температуре. При последующем охлаждении стали до комнатных температур размер зерна уже практически не изменяется, так как образующиеся при распаде аустенита феррит и перлит сохраняют конфигурацию и размеры бывших аустенитных зерен.

Размер зерна является очень важной характеристикой качества и свойств стали.

Таким образом, наличие у железа аллотропических превращений и большая чувствительность структуры железоуглеродистых сплавов к скорости охлаждения являются основными факторами, позволяющими путем соответствующих изменений температуры охлаждения (нагрева), а также скоростей нагрева и выдержки при соответствующих температурах (термическая обработка) получать различные структуры стали и благодаря этому иметь возможность придавать сталям требуемые свойства.

По своей структуре стали подразделяются на:

*перлитные*, которые при обычном медленном охлаждении имеют структуру, состоящую, в зависимости от содержания углерода, из феррита с перлитом, одного перлита или перлита с цементитом;

*аустенитные*, способные сохранять устойчивую структуру аустенита и при комнатной температуре;

*ферритные*, структура которых состоит из феррита и первичных карбидов, образовавшихся при застывании стали;

*мартенситные*, которые имеют резко выраженную мартенситную структуру. Мартенситные стали, как правило, для трубопроводов не применяются.

*Легированными* называются стали, в которых кроме железа и углерода содержатся специально вводимые элементы, позволяющие придавать металлу требуемые свойства. Степенью легирования называется суммарное массовое содержание всех легирующих компонентов в сплаве.

Различают следующие сплавы в зависимости от степени их легирования: *низколегированные* — сплавы с суммарным содержанием легирующих компонентов менее 2,5%; *среднелегированные* — сплавы с суммарным содержанием легирующих компонентов 2,5—10%; *высоколегированные* — сплавы с суммарным содержанием легирующих компонентов более 10%.

Легирование дает возможность: повышать прочность стали без применения термической обработки путем упрочнения феррита растворением в нем легирующих элементов; повышать твердость, прочность и ударную вязкость увеличением устойчивости аустенита; придавать сталям специальные свойства, к которым для трубопроводных сталей относятся жаропрочность и жаростойкость. Эти свойства достигаются правильным подбором и одновременным введением в сталь сразу многих легирующих элементов. В связи с этим наиболее жаропрочными стальными сплавами являются многокомпонентные, или сложнолегированные, композиции, жаропрочные свойства которых обеспечиваются совместным действием всех вводимых в сталь элементов.

Легирование сталей перлитного класса имеет своей целью упрочнение основной фазы  $\alpha$ -твердого раствора введением молибдена, который, образуя твердый раствор замещения в железе, повышает энергию кристаллических связей в области наиболее высоких температур, что приводит к повышению жаропрочности стали. Необходимо отметить, что и молибден, и углерод в стали при длительном воздействии высоких температур выделяются из твердого раствора. Для устранения этого явления в сталь вводятся дополнительные легирующие элементы — ванадий, бор, ниобий, вольфрам и др. Для увеличения жаростойкости в такие стали добавляют хром, который в небольших количествах также несколько стабилизирует действие молибдена, повышая эффект жаропрочности.

Примерами сложнолегированных трубопроводных сталей перлитного класса могут служить хромомолибденованадиевые стали марок 12X1MФ, 15X1M1Ф, 12X2MФCP и др.

Легирование сталей аустенитного класса производится с целью сохранения от распада до самых низких температур структуры  $\gamma$ -твердого раствора. Основным элементом, обеспечивающим сохранение аустенита в трубопроводных сталях, является никель, склонность которого к окисле-

нию при высоких температурах нейтрализуется окалиностойким хромом. Необходимо отметить при этом, что указанный эффект достигается лишь при весьма больших содержаниях названных элементов. Таким образом, основным типом трубопроводных сталей аустенитного класса являются высоколегированные хромоникелевые стали с суммарным содержанием легирующих элементов до 30% и более.

Для предотвращения межкристаллитной коррозии и образования трещин в трубопроводах из хромоникелевых аустенитных сталей эти стали подвергают дополнительному легированию титаном, вольфрамом, ниобием и т. п.

К достоинствам аустенитных сталей по сравнению с перлитными относятся повышенная жаропрочность, высокая жаростойкость, меньшая чувствительность к перегреву и более удовлетворительная свариваемость. Однако эти стали обладают отрицательными свойствами — высоким содержанием дефицитных элементов (в особенности никеля) и высокой стоимостью; высоким температурным коэффициентом линейного расширения при низкой теплопроводности, вызывающим при нагреве внутренние напряжения, а также низкой пластичностью при комнатных температурах; невозможностью упрочнения методами термической обработки (за исключением дисперсионно-твердеющих сталей) вследствие отсутствия фазовых превращений при нагреве; склонностью хромоникелевых аустенитных сталей некоторых марок к образованию трещин при эксплуатации. Кроме того, из-за повышенной вязкости аустенитные стали трудны для механической обработки.

### 2.2.2. ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СВОЙСТВА СТАЛЕЙ И ВРЕДНЫЕ ПРИМЕСИ В СТАЛЯХ

**Молибден (Mo).** Суживает область  $\gamma$ -фазы в стали, способствуя распаду аустенита. При расплавлении стали входит в твердый раствор, усиливая энергию внутрикристаллических связей. Обладая высокой температурой рекристаллизации, повышает ее для всего сплава в целом. Молибден является самым активным упрочнителем трубопроводных сталей и наилучшим образом влияет на их жаропрочность. Повышает пластичность стали при длительном нагреве и снижает ее склонность к тепловой хрупкости. При нагреве стали молибден диффундирует из твердого раствора и образует вне последнего менее ценную структуру карбида молибдена  $Mo_2C$ , что приводит к разупрочнению молибденовых сталей при длительном нагреве. Эти карбиды коагулируют затем в крупные образования, которые могут распадаться впоследствии на составные части (в том числе на графит). Последнее обстоятельство заставляет считать чистый молибден графитизатором стали. Чтобы не допустить образования карбидов, помимо молибдена в сплав

вводят другие, более активные карбидообразователи (вольфрам, бор, ниобий и др.), которые, связав высвободившийся углерод стали в свои собственные карбиды, не оставляют последнего для образования карбида молибдена, чем заставляют его войти в твердый раствор. Наилучшие свойства стали обеспечиваются при содержании молибдена 0,5—1%, однако упрочняющее действие его усиливается при одновременном введении в сталь других легирующих элементов. При содержании молибдена до 0,5% свариваемость стали несколько повышается, а при 0,5—1% для сварки стали приходится применять сопутствующий (и предварительный) подогрев. Молибден не окалиностоек.

**Ванадий (V).** Суживает область  $\gamma$ -фазы в стали, способствуя распаду в ней аустенита при охлаждении. При вхождении в твердый раствор ослабляет внутрикристаллические связи, приводя тем самым к разупрочнению стали. Однако, являясь активным карбидообразователем, ванадий связывает в стали практически весь свободный углерод, вытесняя из карбидной фазы другие, менее активные карбидообразователи (в том числе молибден). Термическая обработка способствует выделению в ванадиевых сталях мелкозернистых карбидов ванадия, которые в качестве дополнительной упрочняющей фазы создают условия дисперсного твердения при длительной работе при температурах 500—600 °C и выше. Являясь активным стабилизатором жаропрочных свойств стали, ванадий ограничивает графитизацию. Высокие механические свойства стали обеспечиваются при содержании ванадия 0,25—0,35%; при таком содержании ванадий повышает также свариваемость стали. Окалиностойкость чистого ванадия очень низка.

**Хром (Cr).** Суживает область  $\gamma$ -фазы в стали, способствуя распаду в ней аустенита. Обладая высокой температурой рекристаллизации, повышает таковую для всего сплава в целом, что (при содержании хрома до 1,5%) несколько повышает жаропрочность сталей. Образует ряд карбидов, однако последние склонны к растворению в феррите, после чего упрочняющее действие упомянутых карбидов хрома не может быть использовано. Являясь чрезвычайно активным раскислителем, хром связывает в окись практически весь свободный кислород, обеспечивая высокие антикоррозионные свойства стали как при низких, так и при высоких температурах, а также жаростойкость стали (окалиностойкость), содержащей хром. При содержании  $Cr \geq 5-8\%$  сталь становится нержавеющей. Образуя на поверхности металла прочную оксидную пленку, защищающую сталь от дальнейшего окисления (ржавления), хром затрудняет сварку стали, что заставляет применять предварительный и сопутствующий подогревы и особо тщательную термическую обработку сварных стыков. В больших количествах (и в при-

сутствии молибдена) хром является также антиграфитизатором.

**Никель (Ni).** Это сильный расширитель  $\gamma$ -фазы в стали. Никель является активным стабилизатором аустенита (в чем и заключается его основное назначение как легирующего элемента), сохраняя в стали аустенит до самых низких температур. При легировании аустенитная структура в стали обеспечивается при содержании Ni 25%; при одновременном легировании другими элементами (например, хромом) расход никеля может сократиться в 2 раза. На жаропрочность никель влияет лишь косвенно, создавая в стали структуру наиболее жаропрочного аустенита. Никель является также графитизатором, повышает вязкость стали и улучшает ее свариваемость, склонен к окислению, а в комбинации с хромом способствует развитию в стали тепловой хрупкости.

**Титан (Ti).** Сильный ограничитель  $\gamma$ -фазы стали и мощный карбидизатор, образующий высокостабильный карбид TiC, сохраняющий устойчивость практически при всех рабочих температурах трубопроводов. Образует в стали также ряд мелкокристаллических интерметаллидов (титанидов), титан создает в перлитных сталях условия дисперсионного затвердевания. В аустенитных сталях титан связывает в карбиде свободный углерод сплава, что способствует снижению склонности стали к интеркристаллитной коррозии. Стабилизируя хромоникелевые стали против указанного дефекта, титан также несколько повышает жаропрочность сталей всех классов. Улучшает свариваемость стали.

**Кобальт (Co).** Безразличен к  $\gamma$ -фазе в стали, не образует карбидов. При сплавлении в стали с железом образует твердый раствор, однако при этом у перлитных сталей повышается скорость диффузии углерода, а у аустенитных сталей она понижается, за счет чего у последних увеличивается энергия внутрискристаллических связей. Кобальт является активным упрочнителем аустенитных сталей, особенно при наличии в них других легирующих элементов, вызывающих дисперсное затвердевание. На жаропрочность перлитных сталей (без совместного действия с другими элементами) не влияет. К графитизации последних безразличен. Повышает окалиностойкость стали и, несколько затрудняя процесс сварки, вызывает значительное разупрочнение ее в зоне термического влияния. Наиболее дефицитный элемент из применяемых для легирования трубопроводных сталей.

**Бор (B).** Расширяет область  $\gamma$ -фазы в стали, предохраняя от распада аустенит. Образует в стали (вместе с другими элементами) твердый раствор, а в аустенитных сталях еще и ряд интерметаллических соединений (боридов), способствующих развитию в них процессов дисперсионного затвердевания. Имеет высокую температуру рекристаллизации и является активным

упрочнителем всех видов стали, однако лишь при введении в нее других элементов. Вместе с тем бор затрудняет свариваемость стали, а при введении в количестве более 0,006—0,1% образует в ней легкоплавкую эвтектику, затрудняющую горячую обработку такой стали давлением. Предельное содержание бора в трубопроводных сталях обычно не превышает 0,005%.

**Вольфрам (W).** Суживает область  $\gamma$ -фазы в стали, способствуя распаду в ней аустенита. Является активным карбидообразователем, образуя в стали тугоплавкий карбид  $W_2C$ , а также ряд интерметаллидов (вольфрамовидов железа  $Fe_3W_2$ ,  $Fe_3W$  и др.), что способствует развитию в вольфрамовых сталях процессов дисперсионного затвердевания. Вольфрам способствует вытеснению из карбидной фазы молибдена; так, например, в сталях, легированных молибденом и вольфрамом, при наличии последнего большая часть молибдена переходит в твердый раствор в железе. Имея высокую температуру рекристаллизации, вольфрам является активным упрочнителем стали при высоких температурах. Благодаря описанному действию на сталь вольфрам способствует повышению жаропрочности перлитных сталей. В аустенитных сплавах на хромоникелевой основе вольфрам повышает жаропрочность путем стабилизации структуры и повышения их сопротивления развитию интеркристаллитной коррозии. Вольфрам неокисляющ, и его легкая окисляемость требует при сварке защиты зоны расплавления металла от контакта с кислородом воздуха (например, путем сварки в среде защитных газов).

**Ниобий (Nb).** Сильно суживает область  $\gamma$ -фазы в стали, способствуя распаду в ней аустенита. Образует тугоплавкие карбиды и интерметаллические соединения, что обуславливает в сталях, легированных ниобием, повышение жаропрочности путем карбидного и интерметаллидного дисперсионного затвердевания. Однако подобный характер упрочнения сталей, содержащих ниобий, приводит к хрупкости зон термического влияния в металле при сварке, что в свою очередь усложняет сварку и предъявляет повышенные требования к термической обработке сварных стыков. Ниобий повышает пластичность стали после ее термической обработки, однако при этом несколько снижается ее прочность. Ниобий является активным стабилизатором хромоникелевых аустенитных сталей и сложнолегированных перлитных сплавов. Благодаря высокой температуре рекристаллизации ниобий является активным упрочнителем сталей при высокой температуре.

**Кремний (Si).** Суживает область  $\gamma$ -фазы в стали, способствуя распаду аустенита. Карбидов не образует. Жаропрочности стали не повышает, однако благоприятно влияет на окалиностойкость, не уступая в этом отношении влиянию хрома и алюминия. Кремний — весьма эффективный рас-

жислитель стали при выплавке, а также активный стабилизатор свойств стали против окиснообразования. В количествах до 0,3% кремний не влияет на качество сварки стали, в больших количествах способствует образованию в сварном стыке тугоплавкого вязкого окисла, загрязняющего металл шва неметаллическими включениями и снижающего прочность сварки.

**Марганец (Mn).** Расширяет область  $\gamma$ -фазы в стали, особенно при наличии хрома (обеспечивает аустенитную структуру стали при низких температурах при 15% Mn и 15% Cr). При расплавлении в стали входит в твердый раствор, усиливая энергию внутрикристаллических связей, однако вследствие невысокой температуры рекристаллизации на жаропрочность стали почти не влияет. Более ценным является влияние марганца на сталь при сравнительно невысоких температурах (около 300°C), при которых марганец существенно повышает ее предел прочности и текучести. Марганец, однако, способствует развитию у стали тепловой хрупкости, вследствие чего для легирования перлитных сталей при работе с высокими температурами, так же как и для получения аустенитных трубопроводных сталей, не применяется. Марганец является активным раскислителем стали и, благодаря своей способности образовывать с серой легко удалимые из стали соединения, ее десульфатором. Окалиностойкость марганца невелика.

**Кислород (O<sub>2</sub>), водород (H<sub>2</sub>), CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и другие газы.** Газы, попадающие в сталь при выплавке из воздуха или водяного пара, являются вреднейшими примесями, вызывающими ряд дефектов (подкорковые пузыри, оксидные пленки, флокены и др.), способствующими развитию в стали различных коррозионных процессов.

**Азот (N<sub>2</sub>).** Попадая в сталь при выплавке из воздуха, вдуваемого в печь, расширяет область  $\gamma$ -фазы в стали, чем может заменить в ней при выплавке аустенитных сталей некоторое количество никеля. Упрочняющая фаза, создаваемая азотом в стали, — мелкодисперсные нитриды. Ввиду склонности азота к развитию в стали поверхностной твердости для легирования трубопроводных сталей он не применяется и является вредной примесью.

**Серa (S), фосфор (P).** Попадают в сталь из руды и являются очень вредными примесями для трубопроводных сталей, обуславливающими их хладноломкость (фосфор) и красноломкость (серa) и затрудняющими их литье и механическую обработку.

## 2.3. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ

### 2.3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Большинство современных сложнoleгированных трубопроводных сталей относится к так называемым термоулучшенным

сплавам, т. е. к металлам, в которых путем специальной термической обработки создается более высокий уровень жаропрочных свойств, чем тот, который обусловлен их химическим составом. Термическая обработка стали основана на использовании аллотропических превращений структуры металла, происходящих в твердой стали при ее нагреве и охлаждении.

Основные виды термической обработки трубопроводных сталей перлитного класса направлены к полному или частичному переводу их структуры при нагреве в аустенитное состояние. При этом углерод из феррита стали входит в  $\gamma$ -решетку металла и удерживается в ней в течение всего времени пребывания стали при соответствующей температуре. При охлаждении аустенизированной стали вследствие большой растворимости углерода в  $\gamma$ -железе по сравнению с  $\alpha$ -железом часть углерода (сверх предела растворимости в  $\alpha$ -решетке) снова выделяется из твердого  $\gamma$ -раствора, который затем превращается в феррит. При медленном охлаждении стали этот углерод успевает выйти из аустенита, в результате чего в стали происходит так называемое перлитное (ферритное) превращение аустенита. При очень быстром охлаждении металла скорость диффузии углерода из  $\gamma$ -фазы оказывается недостаточной для удаления из нее лишнего углерода, в результате чего аустенит стали превращается в феррит с избыточным (против естественного предела растворимости) содержанием углерода. Пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе называется *мартенситом*. Таким образом, при быстром охлаждении стали, нагретой до аустенитного состояния, в ней происходит мартенситное превращение аустенита.

Мартенситное превращение в стали происходит лишь в пределах определенных температур  $M_k$ — $M$  (где  $M$  — температура начала и  $M_k$  — температура окончания образования мартенсита) и обычно не захватывает всей массы аустенита в сплаве; вследствие этого в стали, подвергнутой мартенситизации, помимо мартенсита может содержаться то или иное количество остаточного аустенита, феррита, перлита и т. п. Таким образом, при медленном охлаждении нагретой перлитной стали происходят выравнивание и улучшение ее состава и структуры, повышается однородность, происходят размельчение зерна и стабилизация распределения легирующих элементов. При быстром охлаждении в этой стали создается неустойчивая структура мартенсита, выравнивания структуры и состава стали при этом не происходит.

При термической обработке аустенитных сталей тепловое воздействие ведется в пределах, не вызывающих изменения основной  $\gamma$ -структуры, однако при нагревании и выдержке таких сталей при температуре нагрева достигаются выравнивание структуры и стабилизация распределе-

ния находящихся в сплаве дополнительных упрочняющих фаз.

Термическая обработка стали производится для: уменьшения напряжений, полученных в процессе обработки металла давлением; устранения наклепа, полученного в процессе обработки стали в холодном состоянии; создания однородной структуры стали, которая обеспечивает более высокий уровень механических свойств и лучшую обрабатываемость; выравнивания химического состава; исправления крупнозернистой структуры (перевода ее в мелкозернистую), которая вызывает общее уменьшение вязкости и, в частности, резкое падение ударной вязкости; увеличения твердости и прочности стали при закалке; получения определенной заданной структуры.

В зависимости от режима термообработки стали ее механические свойства различны.

### 2.3.2. ВИДЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Существуют следующие виды термической обработки стали:

1. *Отдых, или возврат* — небольшой (обычно до 200—350 °С) нагрев наклепанной стали, способствующий снятию напряжения сдвига и частичному восстановлению свойств стали.

2. *Рекристаллизационный или низкий отжиг* (отпуск при высоких температурах — нагрев стали до температуры  $t_{рек} < t_{р.о} < A_{c1}$  около 650—700 °С) между порогом рекристаллизации и началом фазовых превращений  $A_{c1}$ , после чего сталь медленно охлаждается вместе с печью. Этот вид термообработки применяется для устранения наклепа в стальных изделиях или для снижения их твердости. Следствиями ее являются полное восстановление свойств стали и снятие всех напряжений наклепа.

3. *Отжиг* (фазовая перекристаллизация или отжиг второго рода) — нагрев стали до температуры  $t_{ф} \geq A_{c1}$ , равной температуре фазовых превращений в металле или превышающей ее, и затем очень медленное (вместе с печью) охлаждение до комнатной температуры. Скорость охлаждения стали при отжиге не должна превышать 200—100 °С/ч для углеродистых сталей, 60—50 °С/ч для мало- и среднелегированных сталей и 50—45 °С/ч для высоколегированных сталей.

При таком охлаждении стали, нагретой до аустенитного состояния, в ней происходит перлитное превращение аустенита с восстановлением первоначальной равновесной ферритно-перлитно-цементитной структуры. В зависимости от температуры нагрева этот вид термической обработки имеет следующие разновидности:

*неполный отжиг* — нагрев стали до температуры  $A_{c1} < t_{н.о} < A_{c3}$  (примерно до 770—800 °С) с последующим охлаждением. Этот вид термической обработки применяется для сталей после их горячей обработки давлением, когда вследствие неравномер-

ного охлаждения в металле возникают некоторое неравновесное состояние и внутренние напряжения. При такой термической обработке в сплаве происходит частичная перекристаллизация перлита и снимаются внутренние структурные напряжения;

*нормальный (полный) отжиг* — нагрев стали до температуры  $A_{c3} + (20 \div 30)$  °С с последующим охлаждением. Этот вид термической обработки применяется в тех случаях, когда в сталях после горячей обработки давлением (при слишком высокой или низкой температуре) образуется крупнозернистая или полосчатая структура, а также возникают значительные внутренние напряжения. Такой отжиг приводит к улучшению структуры металла и снятию внутренних напряжений. Необходимо отметить, что ввиду относительной сложности и большого расхода топлива полный отжиг стали заменяют (там, где это возможно) неполным;

*высокий отжиг* — нагрев стали до температуры  $t_{в.о} \geq A_{c3}$  (примерно до 1100—1150 °С) и выдержка в течение 12—15 ч при этой температуре с последующим медленным охлаждением. Длительная выдержка стали при высокой температуре способствует диффузионному выравниванию ее состава и устранению в ней различных неоднородностей, появляющихся вследствие ликвации при затвердевании, при этом снимаются все внутренние напряжения в стали. Высокий отжиг часто называют диффузионным отжигом, или гомогенизацией. Этот вид термической обработки часто применяют для однофазных сплавов (для сталей аустенитного класса), сохраняющих свою структуру при всех температурах.

4. *Нормализация* — нагрев стали до температуры, соответствующей нормальному отжигу, но при охлаждении со скоростью, несколько превышающей скорость охлаждения стали при отжиге. Различают следующие разновидности этого способа термической обработки стали:

*собственно нормализация* — нагрев стали до температуры примерно  $A_{c3} + (30 \div 50)$  °С с последующим охлаждением в неподвижном воздухе. Ускоренное охлаждение стали при нормализации уменьшает степень снятия внутренних напряжений по сравнению с отжигом, вследствие чего в нормализованной стали могут быть некоторые структурные отклонения от структурно-равновесного состояния, а также остаточные внутренние напряжения. В связи с этим нормализованная сталь имеет повышенную прочность, но пониженную пластичность по сравнению с отожженной сталью. У малоуглеродистых сталей эта разница невелика, поэтому для них отжиг часто заменяют более дешевой и простой нормализацией. У среднеуглеродистых сталей эта разница значительно больше, поэтому для них применяют тот или другой вид термической обработки;

*одинарная термическая обработка* — то же, что и собственно нормализация, но с охлаждением при обдувании воздухом. При таком ускоренном охлаждении сталь больше, чем при чистой нормализации, отдалается от структурно-равновесного состояния, вследствие чего ее твердость и прочность повышаются. Этот способ термической обработки применяют в тех случаях, когда, не прибегая к закалке, стремятся получить более высокие специальные свойства металла, чем при нормализации.

5. *Закалка* — нагрев стали до температуры примерно  $A_{c3}$  и очень быстрое охлаждение до комнатной температуры. При этом в стали происходит мартенситное превращение аустенита, при котором образуется мартенсит с некоторым количеством переохлажденного остаточного аустенита и феррита (или перлита).

Различают следующие разновидности этого вида термической обработки стали:  
*неполная закалка* — нагрев доэвтектоидной стали до температуры, несколько меньшей  $A_{c3}$ , и очень быстрое охлаждение. При неполной закалке в стали вместе с мартенситом образуется некоторое количество остаточного феррита;

*полная (истинная) закалка, или закалка на мартенсит*, т. е. на содержание углерода в  $\alpha$  твердом растворе сплава, — нагрев доэвтектоидной стали до температуры  $A_{c3} + (30 \pm 20)^\circ\text{C}$  с таким же, как и в предыдущем случае, быстрым охлаждением. При такой закалке в стали образуется основная структура мартенсита с примесью остаточного аустенита;

*высокая закалка* — нагрев доэвтектоидной стали до температуры, значительно превышающей  $A_{c3}$ , и очень быстрое охлаждение. Этот вид закалки применяется для мелкозернистой стали, так как он способствует однородности твердого раствора в сплаве, не вызывая в материале роста зерна. Для крупнозернистых сталей этот вид термической обработки непригоден, поскольку перегрев металла способствует интенсивному росту аустенитного зерна.

Нагрев стали при закалке должен производиться в печах по возможности с нейтральной атмосферой или в ваннах с расплавленными солями. Охлаждение стали производится обычно в воде или масле. При охлаждении должны быть обеспечены следующие режимы: быстрое охлаждение в диапазоне температур  $650\text{—}550^\circ\text{C}$  для углеродистых сталей и  $650\text{—}300^\circ\text{C}$  для легированных (в случае медленного охлаждения этих сталей в указанной зоне температур происходит интенсивное перлитное превращение аустенита); медленное охлаждение в зоне температур  $300\text{—}200^\circ\text{C}$  для всех сталей, так как у большинства из них в этом интервале температур особенно интенсивно образуется мартенсит.

Холодная вода обеспечивает хорошее охлаждение нагретой стали в высокотемпературной зоне охлаждения; в низкотемпературной зоне охлаждения наилучшими

закалочными свойствами обладает масло. Поэтому для углеродистых сталей с высокой критической скоростью закалки применяют воду во всем диапазоне охлаждения; для легированных сталей с малой критической скоростью закалки наиболее желательна закалка в масле либо сначала в воде, а затем после охлаждения металла до  $320\text{—}300^\circ\text{C}$  — в масле.

*Критической скоростью закалки* называется такая скорость охлаждения стали, при которой в ней не успевает начаться перлитное превращение аустенита. При охлаждении стали с критической скоростью весь аустенит превращается в мартенсит; при небольшом понижении этой скорости в структуре закаленной стали кроме мартенсита появляется тростит. Для гарантированной закалки стали на мартенсит ее охлаждают со скоростью, несколько превышающей критическую.

Необходимо отметить следующие особенности закалки трубопроводных сталей. Образующийся при закалке стали мартенсит имеет кристаллическую решетку тетрагонального типа, отличную от кубических решеток  $\alpha$ - и  $\gamma$ -железа. Изменение объема кристаллической решетки мартенсита по сравнению с  $\alpha$ - и  $\gamma$ -решетками создает в закаленной стали состояние всестороннего сжатия, благодаря чему в ней возникают значительные массовые напряжения, высокая прочность и практически нулевая пластичность стали. Пересыщенность решетки мартенсита углеродом и его внутренняя перенапряженность вызывают неустойчивость структуры закаленной стали. Для устранения этой перенапряженности конструкционные трубопроводные стали после закалки подвергают дополнительной термической обработке — отпуску.

6. *Отпуск* — нагрев закаленной стали до температуры ниже  $A_{c1}$  и медленное охлаждение до комнатной температуры. При нагреве до температуры  $80\text{—}170^\circ\text{C}$  в закаленной стали происходит аллотропическое превращение тетрагональной решетки мартенсита в кубическую с частичным высвобождением некоторого количества углерода, образующего в сплаве пластинки карбида  $\text{Fe}_3\text{C}$ . При дальнейшем нагреве стали до температуры  $200\text{—}300^\circ\text{C}$  происходит превращение остаточного аустенита в так называемый отпущенный мартенсит также с дополнительным выделением цементита  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Наконец, при нагреве до температуры около  $400^\circ\text{C}$  в стали завершается распад твердого раствора с полным выделением из него углерода и образованием стабильной смеси феррита и цементита (перлита). Дальнейшее повышение температуры приводит к коагуляции в стали перлита. Сталь, подвергнутая отпуску при температуре  $400\text{—}500^\circ\text{C}$ , имеет структуру тростита, а при температуре  $500\text{—}600^\circ\text{C}$  — сорбита. Образующийся в стали при отпуске цементит приобретает зернистую форму, что способствует улучшению механических свойств стали.



Отпуск при температуре 600—700 °С и выше применяется для термической обработки малоуглеродистых трубопроводных сталей, у которых перлитный распад мартенсита или аустенита в области температур  $A_{c1}$  по каким-либо причинам затруднен или замедлен.

Следует отметить, что все легированные (особенно высоколегированные) стали после отпуска приобретают так называемую отпускную хрупкость. У стали различают два вида отпускной хрупкости: 1) отпускную хрупкость первого рода, проявляющуюся после отпуска при температуре около 300 °С, когда в стали происходит распад высоковязкого аустенита с образованием более хрупких перлитных фаз; скорость охлаждения стали на степень развития в ней отпускной хрупкости первого рода не влияет; 2) отпускную хрупкость второго рода, проявляющуюся после отпуска при температурах около 500—650 °С при медленном охлаждении стали. Наибольшее значение в развитии отпускной хрупкости второго рода имеет фосфор, который, выделяясь при нагреве из феррита, располагается в виде легкоплавких фосфористых соединений на границах зерен сплава. Наличие хрома, фосфора и марганца способствует развитию в стали отпускной хрупкости второго рода; молибден и вольфрам эту склонность стали снижают.

При термоулучшении современных высококачественных малоуглеродистых трубопроводных сталей очень часто применяют так называемую двойную термообработку, выполняя последовательно друг за другом закалку и отпуск или нормализацию и отпуск. При двойной термической обработке трубопроводных сталей иногда применяют еще выдержку в течение нескольких часов, во время которой могут происходить различные диффузионные процессы, выравнивающие состав и структуру металла. Чем дольше эта выдержка, тем полнее протекают указанные процессы.

Например, существуют следующие виды двойной термической обработки для некоторых наиболее распространенных марок трубных сталей: для стали марки 12Х1МФ — нормализация при температуре 950—980 °С и отпуск при температуре 720—750 °С с выдержкой в течение 1—3 ч, охлаждение на воздухе; для стали марки 15Х1М1Ф — нормализация при температуре 1020—1050 °С, отпуск при температуре 730—760 °С с выдержкой не менее 10 ч, охлаждение на воздухе; для стали марки 1Х14Н18В2БР (ЭИ695Р) (аустенитная) — аустенизация: нагрев до температуры 1140—1160 °С с выдержкой и охлаждением на воздухе.

Следует отметить, что процесс отпуска приводит также к снятию наклепа (нагартовки) в стали.

**Наклеп или нагартовка** — это упрочнение металла в процессе холодной деформации. По мере деформации металла прочность его увеличивается, а остающаяся до

его разрушения способность к деформации, т. е. запас пластичности, уменьшается. Явление наклепа объясняется накоплением в металле части энергии деформации, которая расходуется на искажение кристаллической решетки. Наклеп металла при любом виде его холодной обработки сопровождается появлением в металле искажений кристаллической решетки в плоскости скольжения и прилегающих к ней объемах, а также увеличением прочности и твердости металла и снижением его пластичности. Наклеп приводит к появлению в металле напряженного состояния. Следствием наклепа могут быть внутризеренные или межкристаллитные трещины в металле. Явление наклепа наблюдается при ковке, прокатке, вытяжке, волочении, прессовании, гнутье и экспонировании концов труб (холодная правка).

## 2.4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СТАЛЕЙ

### 2.4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Оценочными характеристиками трубопроводных сталей тепловых электростанций являются: химический состав, позволяющий судить о природе металла и общих условиях использования тех или иных марок сталей; макро- и микроструктура металла, которые дают представление о структурных составляющих стали, ее сплошности и различных внутренних и внешних дефектах; механические свойства: временное сопротивление  $\sigma_b$ , предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , твердость НВ, НВ, НR, относительное удлинение  $\delta$ , сужение  $\psi$ , ударная вязкость КС; результаты технологических испытаний (изгиб, а для труб — загиб, сплющивание, раздача), позволяющие судить о пластичности металла; жаропрочность: предел длительной прочности  $\sigma'_{дл-10^4}$  и ползучести  $\sigma'_{п-1\%}$ , по которым оценивают работоспособность металла в течение назначенного срока службы в условиях длительного нагрева и давления; номинальное допускаемое напряжение  $[\sigma]$ , применяющееся при расчете трубопроводов на прочность и расчете труб (толщины стенки) на действие внутреннего давления; теплофизические свойства: модули упругости  $E$  и  $G$ , коэффициенты линейного расширения  $\alpha$  и теплопроводности  $\lambda$ , теплоемкость  $C$ ; коррозионная стойкость, характеризующие работоспособность металла в эксплуатационных условиях.

Химический состав металла определяют химическим анализом, механические свойства — испытаниями специально отобранных, а иногда и специально обработанных образцов. Механические свойства стали могут определяться при статических, динамических и циклических режимах приложения нагрузок, а также при пониженных, нормальных или повышенных температурах. В зависимости от времени воз-

действия нагрузки на испытываемый образец они могут быть кратковременными или длительными.

Испытаниям подвергают не только заготовки, из которых производятся изделия (в том числе и трубы), но и металл в готовых изделиях, так как при изготовлении под воздействием различных технологических процессов (см. § 3.1) он способен изменять свои свойства.

Проведение испытаний и изготовление необходимых для этой цели образцов производятся по ГОСТ или специальным инструкциям. Количество испытываемых изделий в поставляемой партии, объем испытаний, типы образцов и места их вырезки оговариваются в ГОСТ на технические требования или ТУ на данное изделие.

Объем необходимых испытаний для труб, листов, крепежных деталей, отливок и поковок, применяющихся для стационарных трубопроводов в зависимости от параметров среды, определяется Правилами Госгортехнадзора СССР.

Различают два вида характеристик прочности трубопроводных сталей — характеристики сталей в холодном состоянии и при нагреве.

#### 2.4.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЧНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ СТАЛЕЙ В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ

**Характеристики прочности.** Прочность трубопроводных сталей в холодном состоянии (+20 °С) определяют следующие показатели.

**Временное сопротивление (предел прочности при растяжении)** (ГОСТ 1497—73 \*)  $\sigma_{\text{в}}$ , кгс/мм<sup>2</sup>, — это напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке  $R_{\text{макс}}$ , предшествующей разрушению образца. На рис. 2.3 приведена схема первичной диаграммы растяжения для стали. По оси ординат диаграммы откладываются усилия  $P$ , прилагаемые к испытываемому образцу, или соответствующие напряжения  $\sigma$ , а по оси абсцисс — соответствующие им удлинения  $\Delta l$  образца. Пределу прочности  $\sigma_{\text{в}}$  соответствует точка  $B$  диаграммы.

**Предел текучести (физический)** (ГОСТ 1497-73 \*)  $\sigma_{\text{т}}$ , кгс/мм<sup>2</sup>, — это наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки. На диаграмме рис. 2.3 этой величине соответствует линия  $TT$ .

**Предел текучести условный** (ГОСТ 1497-73 \*)  $\sigma_{0,2}$ , кгс/мм<sup>2</sup>, — это напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2% длины участка образца, удлинение которого принимается в расчет при определении указанной характеристики. Понятие об условном пределе текучести введено в связи с тем, что многие стали при растяжении (особенно в области высокой температуры) не имеют явно выраженной площадки текучести  $TT$ , вследствие чего первичная

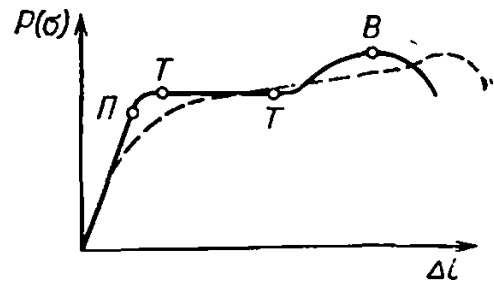


Рис. 2.3. Схема первичной диаграммы растяжения для стали

диаграмма растяжения для них имеет вид, показанный на рис. 2.3 штриховой линией.

Условный предел текучести характеризует работу стали в зоне текучести или пластичности и является одной из важнейших прочностных характеристик трубопроводных сталей.

**Предел пропорциональности** (ГОСТ 1497-73 \*)  $\sigma_{\text{пц}}$ , кгс/мм<sup>2</sup>, — это напряжение, при котором отступление от линейной зависимости между нагрузкой и удлинением достигает такого значения, что тангенс угла наклона, образованного касательной к кривой деформации  $P-\Delta l$  в точке  $P_{\text{пц}}$  с осью нагрузок, увеличивается на 50% своего значения на линейном упругом участке (точка  $P$  на схеме рис. 2.3). Эта характеристика в расчетах трубопроводов не используется, так как последние, как правило, работают в зоне пластичности.

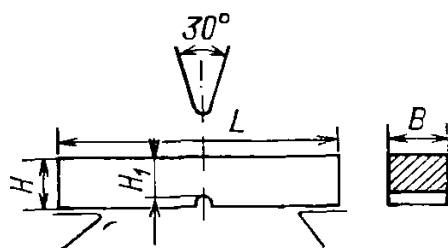
**Относительное удлинение после разрыва** (ГОСТ 1497-73 \*)  $\delta$ , %, — это отношение приращения расчетной длины образца  $l_k - l_0$  после разрыва к ее первоначальному значению  $l_0$ . В зависимости от расчетной длины образцов, на которых определялось относительное удлинение, принимаются следующие условные обозначения относительного удлинения:  $\delta_{2,5}$ ,  $\delta_5$  и т. п.

Относительное удлинение характеризует пластические свойства металла.

**Относительное сужение после разрыва** (ГОСТ 1497-73 \*)  $\psi$ , %, — это отношение разности начальной и минимальной площадей поперечного сечения образца после разрыва к начальной площади поперечного сечения образца.

**Ударная вязкость** (ГОСТ 9454-78)  $KCU$ ,  $KCV$ ,  $KCT$ , кгс·м/см<sup>2</sup>, — это работа удара, отнесенная к начальной площади поперечного сечения образца в месте концентратора (надреза). Схема испытания образца на ударную вязкость приведена на рис. 2.4. Для определения ударной вязкости применяются образцы с расположенными посередине их длины концентраторами. Различаются образцы с тремя видами концентраторов —  $U$ ,  $V$  и  $T$ . Концентратор вида  $U$  имеет надрез полукруглой формы, вида  $V$  — треугольной с углом в 45°, вида  $T$  — треугольной формы или формы прямоугольника, заканчивающегося треугольником. Каждый вид концентратора имеет по несколько типов образцов, различающихся шириной  $B$ , высотой  $H$  и высотой рабочего сечения  $H_1$  (см. рис. 2.4) и др. Концен-





Фиг. 2.4. Схема испытания образца на ударную вязкость

траторы вида U имеют 10 типов образцов (от 1-го до 10-го включительно, ГОСТ 9454-78), вида V — четыре типа образцов (от 11-го до 14-го включительно) и вида T — шесть типов (от 15-го до 20-го включительно). Область применения образцов по ГОСТ 9454-78 приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Область применения образцов по ГОСТ 9454-78

Вид концентратора	Тип образца	Область применения
U	1—10	При выборе и приемном контроле металлов и сплавов до установления норм на образцах с концентратором вида V
V	11—14	При выборе и приемном контроле металлов и сплавов для конструкций повышенной степени надежности (летательные аппараты, транспортные средства, трубопроводы, сосуды давления и т. п.)
T	15—20	При выборе и приемном контроле металлов и сплавов для особо ответственных конструкций, для эксплуатации которых оценка сопротивления развитию трещины имеет первостепенное значение. При исследовании причин разрушения ответственных конструкций

Ударную вязкость обозначают сочетанием букв и цифр. Первые две буквы — КС — обозначают символ ударной вязкости, третья буква — вид концентратора, первая цифра — максимальную энергию удара, вторая — глубину концентратора и третья — ширину образца. Так, например, КСТ<sup>100</sup>15,3/3/7,5 означает, что ударная вязкость определена на образце с концентратором вида T при температуре плюс 100 °С, с максимальной энергией удара 15,3 кгс·м при глубине концентратора 3 мм и ширине образца 7,5 мм.

Цифры в обозначении ударной вязкости не указываются, если она определена при максимальной энергии удара, равной 30 кгс·м, глубине концентратора 2 мм для концентраторов видов U и V и 3 мм для концентратора вида T и ширине образца 10 мм (образцы типов 1, 11 и 15). Например, обозначение ударной вязкости КСУ (КСУ) означает, что ударная вязкость

определена на образце с концентратором вида V (U) при комнатной температуре (20±10 °С), максимальной энергией удара 30 кгс·м при глубине концентратора 2 мм и ширине образца 10 мм.

Испытания на ударную вязкость могут производиться при различных температурах (от -100 до +1000 °С), в том числе при +20, -20, -40 °С, характерных для различных условий работы трубопроводов.

Ударная вязкость характеризует склонность металла к переходу в хрупкое состояние под влиянием понижения температуры, наличия концентраторов напряжения, увеличения абсолютных размеров и скорости деформации и др.

*Механическое старение по ударной вязкости* (ударная вязкость после механического старения) (ГОСТ 7268-67\*), кгс·м/см<sup>2</sup>, оценивают чувствительность стали к механическому старению по значению ударной вязкости. В этом случае ударные образцы из предварительно деформированного металла (подвергнувшегося растяжению или сжатию) равномерно нагревают (искусственное старение) на 250±10 °С и выдерживают при этой температуре в течение 1 ч, после чего образец охлаждают на воздухе. Такая обработка применяется в тех случаях, когда в стандартах или технических условиях другие температуры и время выдержки не оговорены. Затем образец испытывают на ударную вязкость аналогично ГОСТ 9454-78.

Механическое старение по ударной вязкости характеризует склонность металла труб к охрупчиванию при действии повышенных температур.

*Твердость* — это сопротивление материалов сдавливанию в них более твердых тел. Твердость равна нагрузке, отнесенной к поверхности отпечатка, или обратно пропорциональна глубине отпечатка при некоторой фиксированной нагрузке. В зависимости от материала и формы вдавливаемого жесткого тела, которым производится испытание, различают: твердость по Бринеллю HB (ГОСТ 9012-59\*), определяемую вдавливаем в испытуемый образец стального закаленного шарика определенного диаметра; твердость по Виккерсу HV (ГОСТ 2999-75\*), определяемую вдавливанием в испытуемый образец алмазного наконечника в форме правильной четырехгранной пирамиды; твердость по Роквеллу HR (ГОСТ 9013-59\*), определяемую вдавливанием в испытуемый образец наконечника (алмазного конуса или стального шарика) под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок — предварительной и основной, сумма которых составляет общую нагрузку.

Твердость зависит от структуры металла: при изменении температуры или после различных термических и механических обработок твердость металла изменяется.

*Модуль упругости* характеризует упругие свойства материала. Для трубопровод-

ных сталей являются показательными два вида модуля упругости: модуль нормальной (продольной) упругости (модуль Юнга)  $E$ , кгс/мм<sup>2</sup>, — отношение нормального напряжения  $\sigma$  при растяжении к относительному удлинению  $\delta$ , вызванному этим напряжением в направлении его действия, характеризующее способность материала сопротивляться растяжению; модуль упругости сдвига  $G$ , кгс/мм<sup>2</sup>, — отношение касательного напряжения  $\tau$  к углу сдвига  $\nu$ , определяющему искажение прямого угла между плоскостями, по которым действует касательное напряжение.

Модуль сдвига определяет способность материала сопротивляться изменению формы при сохранении его объема.

Обычно модуль нормальной упругости  $E$  приблизительно в 2,5—3 раза больше модуля сдвига  $G$ .

**Технологические испытания.** *Испытание на изгиб* (ГОСТ 14019-80). Это испытание служит для определения способности металла выдерживать заданную пластическую деформацию, характеризуемую углом изгиба, или оценки предельной пластичности металла при изгибе. Предельная пластичность характеризуется углом изгиба до образования первой трещины. Эти испытания распространяются на ленты, полосовой, широкополосный, листовой, сортовой, фасонный прокат из металлов и сплавов, а также на поковки и отливки. Испытания на изгиб могут производиться до заданного угла изгиба, до появления первой трещины в растянутой зоне образца с фиксацией угла изгиба, до достижения параллельности сторон, до соприкосновения сторон. Вид изгиба должен оговариваться в соответствующих стандартах или технических условиях. Испытания на изгиб производят при плавном увеличении нагрузки на образец.

*Испытание на загиб* (ГОСТ 3728-78 \*). Этим испытанием определяют способность металла в трубах после загиба сохранять свою целостность, т. е. не иметь обнаруживаемых визуально изломов, надрывов и расслоения. Для испытания на загиб труб с наружным диаметром до 60 мм включительно отбирают образцы в виде отрезка трубы полного сечения, для труб с большими диаметрами испытывают образцы в виде вырезанных из труб поперечных и продольных полос. Испытание труб диаметром до 60 мм производят путем плавного непрерывного загиба образца вокруг желобочного ролика или оправки заданного радиуса до определенного угла. Как правило, этот угол принимается равным 90°. Испытание на загиб продольных и поперечных образцов, вырезанных из труб, производится аналогично испытаниям на изгиб ленты, полосового и другого проката, описанным выше, по ГОСТ 14019-80.

*Испытание на сплющивание* (ГОСТ 8695-75 \*). Этим испытанием определяют способность металла труб при сплющивании не иметь на внутренней и наружной

поверхностях трещин или надрывов, определяемых визуально. Для испытания образец помещают между двумя гладкими жесткими параллельными плоскостями и плавно сплющивают его, сближая сжимаемые плоскости до заданного расстояния.

*Испытание на раздачу* (ГОСТ 8694-75 \*). Этот способ испытания определяет способность металла труб после раздачи не иметь трещин и надрывов, определяемых визуально. Испытание может производиться на специальном образце или непосредственно на самой трубе. Конечный образец плавно раздают оправкой с заданным углом конусности  $\alpha$  до получения заданного диаметра  $D$ .

Испытания последних четырех видов не дают численных показателей, однако являются важными качественными характеристиками стали, позволяющими судить о ее пластичности и способности подвергаться холодной деформации без повреждения и образования трещин.

Основными характеристиками механических свойств металла изделий при температуре +20°C по требованиям Правил Госгортехнадзора СССР являются предел текучести, временное сопротивление и относительное удлинение, значения которых обязательно должны быть указаны в ГОСТ или ТУ на трубы, листы и другие полуфабрикаты трубопроводов. Необходимость определения относительного сужения, ударной вязкости, сплющивания и загиба также устанавливается Правилами в зависимости от давления и температуры среды.

#### 2.4.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ И ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Повышение температуры ухудшает характеристики стали. В зоне сравнительно невысоких температур это ухудшение невелико, а при температурах выше 400°C оно становится значительным. При этом временное сопротивление  $\sigma_b$ , условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$  (который в этом случае обозначается как  $\sigma'_{0,2}$ ) ударная вязкость  $K_{CV}$ , относительное удлинение при растяжении  $\delta_b$ , относительное сужение  $\psi$ , модули упругости растяжения  $E$  и сдвига  $G$  стали резко снижаются.

При нагреве выше 400°C в трубопроводных сталях развиваются особые явления, которые так резко влияют на прочность металла, что приведенных выше критериев для оценки прочностных характеристик сталей оказывается недостаточно.

К указанным явлениям в первую очередь относятся *ползучесть* стали, т. е. ее способность к деформации во времени под действием постоянного напряжения, и *длительная прочность*, характеризующаяся напряжением, вызывающим разрушение при определенной температуре за данный отрезок времени. Оба показателя характеризуют жаропрочные свойства стали.

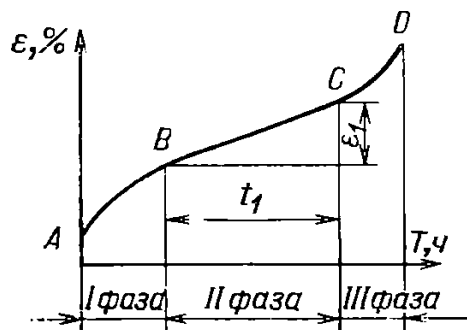


Рис. 2.5. Схема первичной диаграммы ползучести стали

На рис. 2.5 приведена схема первичной диаграммы ползучести стали. Протекание процесса ползучести характеризуется его скоростью. В зависимости от значения и характера изменения скорости ползучести процесс условно делят на три фазы: I фаза — неустановившийся процесс (кривая АВ), начало ползучести (точка А) и протекание ее со значительной, непрерывно убывающей скоростью до некоторого приблизительно постоянного значения (точка В), по достижении которого убывание скорости ползучести практически прекращается; II фаза — установившийся процесс (прямая ВС), протекание ползучести с приблизительно постоянной скоростью от точки В до точки С; III фаза (кривая CD) — увеличение (точка С) скорости ползучести, приводящее к ускоренному росту деформации и затем к разрушению материала (точка D).

Скорость ползучести стали тесно связана с температурой и увеличивается с возрастанием последней. Поэтому понятие о ползучести всегда связано с той или иной температурой.

Различают две температурные зоны работы металла. В первой зоне ползучесть металла практически еще не обнаруживается и прочность стали определяется временным сопротивлением металла или его условным пределом текучести при рабочей температуре. Во второй температурной зоне прочность характеризуется также условным пределом текучести при рабочей температуре и характеристиками металла при ползучести, т. е. условным пределом длительной прочности или условным пределом ползучести.

За условную границу между указанными выше температурными зонами обычно принимают следующие температуры: для углеродистой и марганцовистой сталей 400°C; для теплоустойчивой хромомолибденовой и хромомолибденованадиевой сталей 450°C; для высоколегированных аустенитной и высокохромистой сталей 525°C [17, с. 16].

**Пределом ползучести** называется наибольшее напряжение, при котором скорость или деформация ползучести за определенный промежуток времени не превышают заданного значения. Одним из основных

критериев жаропрочности стали является ее условный предел ползучести.

**Условный предел ползучести** (ГОСТ 3248-60)  $\sigma_{п-1\%}^t$ , кгс/мм<sup>2</sup>, — это напряжение, которое вызывает за установленное время испытания при данной температуре заданное удлинение образца или заданную скорость ползучести на прямолинейном участке кривой ползучести. Для трубопроводных сталей — это напряжение при растяжении, вызывающее при расчетной температуре удлинение в 1% за 10<sup>5</sup> ч.

Условный предел ползучести стали в значительной степени зависит от температуры — уменьшается в 3—4 раза с ее ростом на 50—100°C, поэтому углеродистые трубопроводные стали марок 10—25 при температуре около 450°C становятся непригодными для применения в стационарных трубопроводах. В трубопроводах, работающих при более высоких температурах, могут применяться только легированные стали. Вторым показателем жаропрочности стали является ее *длительная прочность*, т. е. предел длительной прочности — напряжение, вызывающее разрушение металла при данной продолжительности воздействия нагрузки и постоянной температуре.

Чем дольше металл находится под воздействием высоких температур, тем меньше напряжение, вызывающее его разрушение после истечения определенного времени работы металла. Для трубопроводных сталей характеристикой их длительной прочности является условный предел длительной прочности.

**Условный предел длительной прочности** (ГОСТ 10145-62)  $\sigma_{д.п.10^5}^t$ , кгс/мм<sup>2</sup>, — это наибольшее напряжение растяжения, вызывающее разрушение при данной температуре через заданный промежуток времени (расчетный ресурс). Это важнейшая прочностная характеристика металла.

Для стационарных трубопроводов высокого давления расчетный ресурс составляет 10<sup>5</sup> или 2·10<sup>5</sup> ч. Предел длительной прочности резко снижается при росте температуры.

Кроме того, при работе металла труб в зоне высоких температур наблюдается его окисление. Сопротивление стали окислению при высоких температурах называется ее *жаростойкостью* (окалиностойкостью). Критерием жаростойкости является удельная потеря массы окисляющимся металлом за определенный промежуток времени.

При расчете толщины стенки труб стационарных трубопроводов вводится специальная прибавка  $S_s$ , компенсирующая потерю на окалинообразование (см. § 10.2).

Под воздействием высоких температур в трубопроводных сталях может возникать *графитизация* — выделение свободного углерода, возникающее в трубопроводных сталях под воздействием высоких температур. Вследствие сферической формы графитных

выделений это явление часто называют сфероидизацией графика. Наличие зерен графита практически с нулевой механической прочностью равносильно появлению в стали раковин и пустот, ослабляющих металл. Для борьбы с графитизацией применяется термообработка, а также легирование стали специальными присадками, связывающими углерод. Кроме того, необходим систематический контроль за находящимися в эксплуатации трубопроводами (см. п. 8.5.2).

**Номинальное допускаемое напряжение**  $[\sigma]$ , кгс/мм<sup>2</sup>, используется при расчетах минимальных толщин стенок деталей и элементов трубопроводов тепловых электростанций или допустимого давления для них по принятым исходным данным и марке стали. Оно учитывает нагрузку только от внутреннего давления в трубопроводе, что является, как показала практика, вполне достаточным для обеспечения надежности его работы.

Номинальное допускаемое напряжение принимают равным наименьшему значению, полученному в результате деления соответствующей характеристики прочности металла при одноосном растяжении на соответствующий запас прочности.

В качестве расчетных характеристик прочности металла принимают: условные пределы текучести при температуре 20 °С и расчетной температуре —  $\sigma_{0,2}^{20}$  и  $\sigma_{0,2}^t$ ; условный предел длительной прочности при расчетной температуре, соответствующий разрушению через  $10^5$  ч,  $\sigma_{д.п.10^5}^t$ ; условный предел ползучести при расчетной температуре, соответствующий деформации 1% за  $10^5$  ч,  $\sigma_{п-1\%}^t$ ; временное сопротивление разрыву при температуре 20 °С  $\sigma_{в}^{20}$ .

Значения характеристик  $\sigma_{в}^{20}$ ,  $\sigma_{0,2}^{20}$  и  $\sigma_{0,2}^t$  принимаются равными минимальным значениям, установленным в стандартах или ТУ для металла данной марки. Значения характеристик  $\sigma_{д.п.10^5}^t$  и  $\sigma_{п-1\%}^t$  принимаются равными средним значениям, установленным в стандартах или ТУ для металла данной марки. Отклонения характеристик в меньшую сторону допускаются не более 20% среднего значения.

При отсутствии в стандартах или ТУ гарантируемых характеристик прочности металла, допущенного к применению Госгортехнадзором СССР, расчетные характеристики при повышенных температурах устанавливаются после обработки представленного количества накопленных экспериментальных данных и согласования с ЦКТИ и ЦНИИТмаш.

Для полуфабрикатов, изделия из которых должны работать в условиях ползучести, должны быть установлены расчетные значения пределов длительной прочности и ползучести при расчетных температурах с учетом технологии изготовления полуфабриката или изделия, указанной в стандарте или ТУ.

Таблица 2.2. Расчетные характеристики стали и чугуна для определения их номинальных допускаемых напряжений

Материал	Расчетная температура стенки, °С	Формулы для определения допускаемого напряжения $[\sigma]$
Углеродистая сталь	$\leq 400$	Меньшее из двух значений: $\frac{\sigma_{в}^{20}}{2,6} ; \frac{\sigma_{0,2}^t * 1}{1,5}$
Легированная сталь	$\leq 450$	Меньшее из двух значений: $\frac{\sigma_{в}^{20}}{2,6} ; \frac{\sigma_{0,2}^t * 1}{1,5}$
Аустенитная хромоникелевая сталь	$\leq 525$	Меньшее из трех значений: $\frac{\sigma_{в}^{20}}{3,0} ; \frac{\sigma_{0,2}^{20}}{1,5} ; \frac{\sigma_{0,2}^t * 2}{1,5}$
Углеродистая сталь	$> 400$	Меньшее из трех значений: $\frac{\sigma_{0,2}^t}{1,5} ; \frac{\sigma_{д.п.10^5}^t}{1,5} ; \frac{\sigma_{п-1\%}^t * 3}{1,0}$
Легированная сталь	$> 450$	Меньшее из трех значений: $\frac{\sigma_{0,2}^t}{1,5} ; \frac{\sigma_{д.п.10^5}^t}{1,5} ; \frac{\sigma_{п-1\%}^t * 3}{1,0}$
Аустенитная хромоникелевая сталь	$> 525$	Меньшее из трех значений: $\frac{\sigma_{0,2}^t * 2}{1,15} ; \frac{\sigma_{д.п.10^5}^t}{1,5} ; \frac{\sigma_{п-1\%}^t * 3}{1,0}$
Отливки из серого чугуна:	$\leq 250$	отожженные $\frac{\sigma_{в}^{20} * 4}{7,0}$ неотожженные $\frac{\sigma_{в}^{20} * 4}{9,0}$

\*1 Для углеродистых и легированных сталей повышенной прочности ( $\sigma_{в}^{20} > 50$  кгс/мм<sup>2</sup>) с минимальным относительным удлинением  $\epsilon_5$  при комнатной температуре менее 20 °С запас прочности по пределу текучести увеличивают на 0,025 на каждый процент уменьшения относительного удлинения ниже 20%.

\*2 Условие применимо для сталей, характеристики прочности которых установлены без учета термического или механического (нагартовка) упрочнения. Условие не применимо для деталей, в которых недопустима пластическая деформация (фланцы, шпильки).

\*3 Условие применяется в тех случаях, когда условный предел ползучести при расчетной температуре менее 2/3 условного предела длительной прочности при той же температуре.

\*4 Допускаемые напряжения при расчете на изгиб принимают увеличенными на 50%.

Характеристики прочности ( $\sigma_{0,2}^{20}$ ,  $\sigma_{в}^{20}$ ,  $\sigma_{0,2}^t$ ,  $\sigma_{д.п.-10}^t$ ,  $\sigma_{п-1\%}^t$ ) стали могут не указываться, если в утвержденных в установленном порядке нормативных материалах по расчету на прочность, например [4], даны значения допускаемых напряжений при расчетных температурах для стали данной марки [17, с. 16].

Выбор расчетной характеристики стали для определения номинального допускаемого напряжения  $[\sigma]$ , в том числе и для сталей, работающих в условиях ползучести (паропроводы высокого давления) со сроком их службы  $10^5$  ч, производится в соответствии с табл. 2.2 [4]. Допускаемые напряжения для трубопроводов и их деталей из сталей различных марок и при разных температурах приведены в § 3.3.

При действии на трубопровод совместно с внутренним давлением других нагрузок (весовых, самокомпенсации и др.) допускаемое напряжение (эквивалентное) не должно превышать номинальное допускаемое напряжение, взятое с соответствующим коэффициентом [4]. Следует отметить, что допускаемые напряжения для крепежных изделий из-за других условий нагружения вычисляются с коэффициентами запаса прочности, отличными от приведенных в табл. 2.2.

## 2.5. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ МАРОК СТАЛЕЙ

В СССР принята буквенно-цифровая система маркировки сталей по содержанию углерода и входящих в них легирующих компонентов. По этой системе цифра, стоящая в начале марки стали, обозначает среднее содержание углерода в сотых долях процента (в инструментальных сталях — в десятых долях процента). Марка углеродистых сталей состоит только из этой цифры, например, сталь 20. Исключением из этой системы являются стали углеродистые обыкновенно-

го качества по ГОСТ 380-71\*, например, Ст2, ВСт3 и др., где цифра, стоящая после букв, означает условный номер марки стали в зависимости от ее химического состава и механических свойств.

Легирующие элементы обозначаются в марке стали буквами русского алфавита в соответствии с данными, приведенными в табл. 2.3.

Среднее содержание легирующих элементов в процентах обозначается цифрой, стоящей после их буквенного обозначения (с округлением до единицы). Если содержание легирующего элемента в стали не превышает 1,5%, то его буквенное обозначение в марке стали дается без цифры. Например, марка стали 20 означает, что в ней содержится в среднем 0,2% углерода (точнее, 0,17—0,24%); марка стали 15Х1М1Ф означает, что в ней содержится около 0,15% углерода, приблизительно 1% хрома, около 1% молибдена и менее 1,5% ванадия. Буква А, иногда встречающаяся в обозначении марок сталей и стоящая в конце наименования марки, например 30ХГСА, означает, что эта сталь высококачественная. Сталь особокачественная имеет в своем обозначении букву Ш, например 30ХГСАШ. Стали для отливок в конце своего обозначения имеют букву Л, например 12МХЛ. Стали инструментальные маркируются буквой У, проставляемой в начале их марок, например сталь марок У10, У12 и т. д., причем цифры, стоящие в них, указывают содержание углерода в десятых долях процента.

Нестандартные стали (вне ГОСТ) обозначаются самым различным образом, например ЭИ756, ЭП17, ДИ23 и т. д. В этой системе обозначения цифра означает порядковый номер стали, а буквы ЭИ — электросталь исследовательская, ЭП — экспериментальная плавка, ДИ — днепровская исследовательская. Такая система не дает никакого представления о химическом составе обозначаемой ею стали. Для этой системы принимаются 1000 порядковых номеров, по использованию которых маркам сталей присваивают новые буквы.

Таблица 2.3. Обозначения легирующих элементов в марках сталей

Элементы	Обозначение		Элементы	Обозначение	
	латинское в периодической системе элементов	русское в марке стали		латинское в периодической системе элементов	русское в марке стали
Алюминий	Al	Ю	Медь	Cu	Д
Бор	B	Р	Никель	Ni	Н
Ванадий	V	Ф	Ниобий	Nb	Б
Вольфрам	W	В	Титан	Ti	Т
Кобальт	Co	К	Фосфор	P	П
Кремний	Si	С	Хром	Cr	Х
Марганец	Mn	Г	Селен	Se	Е
Молибден	Mo	М	Цирконий	Zr	Ц

## 2.6. СТАЛИ ДЛЯ СТАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

### 2.6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Стали, выпускаемые отечественными металлургическими заводами, разнообразны по своему составу и свойствам. Они классифицируются по способу производства, назначению, качеству, химическому составу, характеру застывания стали в изложницах и т. д.

По способу производства сталь может быть бессемеровской, конверторной, мартеновской и др. По назначению сталь делится на конструкционную, инструментальную, шарикоподшипниковую, для железнодорожного транспорта и др. По химическому составу различают стали углеро-

дистые, в том числе низко-, средне- и высокоуглеродистые и низко-, средне- и высоколегированные.

По качеству углеродистые стали делятся на сталь обыкновенного качества и сталь качественную. Одним из главных признаков различия по качеству является предельное содержание в стали вредных примесей (серы и фосфора). Кроме того, к качественным и высококачественным сталям предъявляются повышенные требования к чистоте металла по неметаллическим включениям, к однородности, макро- и микроструктурам и к тщательному удалению производственных дефектов в полуфабрикатах из них.

По характеру застывания углеродистой стали в изложнице различают спокойные, полуспокойные и кипящие стали. При заливке изложницы нераскисленной сталью происходит интенсивное выделение газов (окиси углерода), что производит впечатление кипения стали в ней. Такая сталь после своего затвердевания носит название кипящей. Эта сталь оказывается насыщенной газовыми пузырями и имеет низкое качество. Борьбу с таким кипением стали ведут путем ее раскисления, т. е. введения в жидкий металл активных раскислителей (хрома, кремния, алюминия и др.). Эти раскислители связывают кислород, в результате чего прекращается выделение из металла окиси углерода и кипение стали, застывание стали происходит спокойно. Такая раскисленная сталь носит название спокойной, и качество ее значительно выше, чем у нераскисленной кипящей стали. Полуспокойной называется сталь, занимающая промежуточное положение между спокойной и кипящей. Чем полнее раскислена сталь, тем спокойнее кристаллизуется слиток.

Как правило, для стационарных трубопроводов должны применяться хорошо раскисленные стали.

Марки сталей в зависимости от предъявляемых к их качеству требований (химический состав, количество вредных примесей, способ выплавки, прочностные характеристики, структура, объем испытаний и пр.) выпускаются по соответствующим ГОСТ или ТУ. Так, например, сталь марки 20 для трубопроводов низкого давления применяется согласно ГОСТ 1050-74\*\*, а для трубопроводов высокого давления — по ТУ 14-3-460-75.

Для стационарных трубопроводов применяются углеродистые, низколегированные, легированные стали перлитного класса, аустенитные и высокохромистые стали. Для трубопроводов высокого давления применяются стали, выплавленные в электрических и мартеновских печах с обработкой их жидким синтетическим шлаком в ковше.

Выбор марок стали для трубопроводов тепловых электростанций (труб, листов, крепежных деталей и т. п.) обуславливается надежностью их работы при соответствующих давлениях и температурах и опре-

деляется Правилами Госгортехнадзора СССР. Любая марка стали (ее ГОСТ или ТУ), не предусмотренная этими Правилами, перед ее применением должна быть согласована с органами Госгортехнадзора.

## 2.6.2. УГЛЕРОДИСТЫЕ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫЕ ТРУБОПРОВОДНЫЕ СТАЛИ

Углеродистые и низколегированные стали применяются в трубопроводах, длительно работающих при температурах менее 450°C. Ниже приведен перечень ГОСТ и даны характеристики углеродистых и низколегированных сталей, применяемых для стационарных трубопроводов.

ГОСТ 380-71\*. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки и общие технические требования.

Настоящий стандарт распространяется на углеродистую сталь обыкновенного качества: горячекатаную — сортовую, фасонную, толстолистовую, тонколистовую, широкополосную (универсальную) и холоднокатаную — тонколистовую, а в части норм химического состава — также на слитки, blooms, слябы, сутонки, заготовки катаные и литые с установок непрерывной разливки стали, трубы, поковки, штамповки, ленту, проволоку и метизы. Этот ГОСТ не распространяется на сталь, изготовленную бессемеровским способом. Стали по ГОСТ 380-71\* в зависимости от назначения подразделяются на три группы: группу А — стали, поставляемые с нормируемыми механическими свойствами; группу Б — стали, поставляемые с нормируемым химическим составом; группу В — стали, поставляемые с нормируемыми механическими свойствами и химическим составом.

В зависимости от нормируемых показателей сталь каждой группы подразделяется на категории: группа А — 1, 2, 3, группа Б — 1, 2 и группа В — 1, 2, 3, 4, 5, 6. Стали изготавливаются следующих марок: группа А — Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6; группа Б — БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6; группа В — ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5. Сталь всех групп с номерами марок 1, 2, 3 и 4 по степени раскисления изготавливают кипящей, полуспокойной и спокойной, с номерами 5 и 6 — полуспокойной и спокойной. Полуспокойная сталь с номерами марок 1—5 производится с обычным и повышенным содержанием марганца. Стали марок Ст0 и БСт0 по степени раскисления не разделяют. Стали марок ВСт1, ВСт2, ВСт3 всех категорий и всех степеней раскисления, в том числе с повышенным содержанием марганца, а по требованию заказчика стали марок БСт1, БСт2, БСт3 второй категории всех степеней раскисления, в том числе с повышенным содержанием марганца, поставляются с гарантией свариваемости. Обозначение марок стали при заказе, клеймении, в спецификациях, на чертежах и других документах — буквенно-цифровое. Буквы Ст означают «сталь», цифры от 0

Таблица 2.4. Нормируемые характеристики для стали группы В по ГОСТ 380-71\*

Категория стали	Марка стали всех степеней раскисления и с повышенным содержанием марганца	Химический состав	Временное сопротивление	Предел текучести	Относительное удлинение	Изгиб в холодном состоянии	Ударная вязкость		
							при температуре, °С		после механического старения
							+20	-20	
1	ВСт1—ВСт5	+	+	—	+	+	—	—	—
2	ВСт2—ВСт5	+	+	+	+	+	—	—	—
3	ВСт3—ВСт4	+	+	+	+	+	+	—	—
4	ВСт3	+	+	+	+	+	—	+	—
5		+	+	+	+	+	—	+	+
6		+	+	+	+	+	—	—	+

Примечания: 1. Знак плюс означает, что показатель нормируется, знак минус — показатель не нормируется.

2. Сталь категорий 3—6 поставляется полуспокойной и спокойной. По соглашению сторон допускается поставлять кипящие стали марок ВСт3 и ВСт4 катего-

рии 3, при этом нормы ударной вязкости при +20°C принимаются в соответствии с нормами для спокойной и полуспокойной сталей марок ВСт3 и ВСт4.

3. Для сталей категорий 1—3, поставляемых для изготовления труб, изгиб в холодном состоянии не нормируется.

до 6 — условный номер марки в зависимости от химического состава стали и механических свойств, например Ст0, Ст1, Ст2, Ст3. Буквы Б и В перед обозначением марки означают группу стали, группа А в обозначении марки стали не указывается, например: БСт3, ВСт3, Ст3. Для обозначения степени раскисления к обозначению марки стали после номера марки добавляют буквы: кп — кипящая, пс — полуспокойная, сп — спокойная, например Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, БСт3сп, ВСт3сп. Для обозначения категории стали к обозначению марки добавляют в конце номер соответствующей категории, например Ст3пс2, БСт3пс2, ВСт3пс5. Первую категорию в обозначении марки стали не указывают, например БСт3кп, ВСт3пс. При заказе стали необходимой категории без указания степени раскисления в обозначении марки стали

номер и категорию отделяют друг от друга, например Ст3-2, БСт3-2. Для обозначения полуспокойной стали с повышенным содержанием марганца в обозначении марки стали после номера марки ставят букву Г, например ВСт3Гпс3.

Для труб трубопроводов тепловых электростанций применяются стали группы В, т. е. стали с нормируемыми химическим составом и механическими свойствами. В зависимости от категории сталь группы В имеет нормируемые характеристики, указанные в табл. 2.4.

В зависимости от условий работы (температуры транспортируемой среды и ее давления, температуры наружного воздуха и ответственности), для труб стационарных трубопроводов могут применяться стали марок: ВСт3пс5, ВСт3пс4, ВСт3пс3, ВСт3пс2, ВСт3пс5, ВСт3Гпс5, ВСт3пс4,

Таблица 2.5. Требования к объему испытаний механических свойств стали в зависимости от ее категории по ГОСТ 1050-74\*\*

Категория стали	Требование к испытанию механических свойств	Вид обработки стали
1	Без испытания механических свойств на растяжение и ударную вязкость	Горячекатаная, ковкая, калиброванная и сталь со специально отделанной поверхностью
2	С испытанием механических свойств на растяжение на образцах, изготовленных из нормализованных заготовок размером 25 мм (диаметра или стороны квадрата), и ударной вязкости, определяемой по тресканию потребителя на термически обработанных образцах	То же
3	С испытанием механических свойств на растяжение на образцах, изготовленных из нормализованных заготовок указанного в заказе размера, но не более 100 мм	Горячекатаная, ковкая и калиброванная
4	С испытанием механических свойств на растяжение и ударную вязкость на образцах, изготовленных из термически обработанных (закалка+отпуск) заготовок указанного в заказе размера, но не более 100 мм	То же
5	С испытанием механических свойств на растяжение на образцах, изготовленных из сталей в нагартованном или термически обработанном состоянии (отожженной или высокоотпущенной)	Калиброванная



Таблица 2.6. Нормируемые характеристики низколегированной толстолистовой и широкополосной универсальной стали в зависимости от ее категории по ГОСТ 19282-73

Нормируемая характеристика	Категория														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Химический состав	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Механические свойства при растяжении и изгиб в холодном состоянии	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ударная вязкость при температуре +20 °С	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ударная вязкость после механического старения	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ударная вязкость при:															
-20 °С	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-40 °С	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-50 °С	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
-60 °С	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
-70 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Ударная вязкость после механического старения и при:															
+20 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
-20 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
-40 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
-50 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
-60 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
-70 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+

Примечание. Знак плюс означает, что испытания проводятся; знак минус—испытания не проводятся.

ВСтЗГпс4, ВСтЗпс3, ВСтЗпс3. Стали по этому ГОСТ применяются также для изготовления фланцев, подкладных колец, металлических конструкций (площадок, лестниц, опор, подвесок и др.).

ГОСТ 1050-74 \*\*. Сталь углеродистая качественная конструкционная. Технические условия.

Настоящий стандарт распространяется на сортовую углеродистую качественную конструкционную сталь, горячекатаную и кованую диаметром или толщиной до 250 мм, калиброванную сталь и сталь со специальной отделкой поверхности. По нормам химического состава стандарт распространяется на все другие виды проката, слитки, поковки, штамповки.

Стали по этому ГОСТ по видам обработки делятся на горячекатаную, кованую, калиброванную, сталь круглую со специальной отделкой поверхности. По требованиям к испытанию механических свойств сталь делится на пять категорий, которые приведены в табл. 2.5. Если в заказе категория стали не проставлена, то поставляется сталь категории 2. По состоянию материала сталь изготавливается без термической обработки, термически обработанная (Т) и нагартованная (Н) (для калиброванной стали и стали со специальной отделкой поверхности). В зависимости от назначения горячекатаная и кованая стали делятся на подгруппы: а — для горячей обработки давлением, б — для холодной механической обработки (обточки, строжки и т. д.) по всей поверхности, в — для холодного волочения (подкат). Назначение стали (подгруппа) должно быть указано в заказе. В марке стали цифры означают среднее содержание углерода в сотых долях процента. По степени раскисления сталь обозначают: кипящую — кп, полу-

спокойную — пс и спокойную — без дополнительных букв.

Для труб трубопроводов тепловых электростанций по этому ГОСТ применяются спокойные стали марок 10 и 20 категории 2. Кроме того, стали марок 10, 20, 25, 30, 35, 40, 45 этого ГОСТ применяются для фланцев, болтов, шпилек, гаек и шайб.

ГОСТ 19282-73. Сталь низколегированная толстолистовая и широкополосная универсальная.

Настоящий ГОСТ распространяется на толстолистовую, широкополосную универсальную и рулонную низколегированную сталь. По нормам химического состава стандарт распространяется также на тонкий лист, слитки, слябы, блюмсы, поковки, штамповки, сортовой и фасонный прокат. По состоянию поверхности сталь должна соответствовать требованиям ГОСТ 14637-79. В зависимости от нормируемых характеристик сталь поставляется по 15 категориям, приведенным в табл. 2.6. Категория стали указывается в заказе и документе о качестве. Сталь категорий 1—6 и 10—12 поставляется без термической обработки, сталь категорий 7—9 и 13—15 — в термически обработанном состоянии (после нормализации или закалки с отпуском). Для трубопроводов применяется сталь категории 12.

Для стационарных трубопроводов по этому ГОСТ применяются стали марок 14ХГС, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 09Г2С и 10Г2С1.

ГОСТ 5520-79. Сталь листовая углеродистая низколегированная и легированная для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия.

Настоящий ОСТ распространяется на листовую горячекатаную углеродистую, низколегированную и легированную стали



Таблица 2.7. Нормируемые характеристики углеродистой, низколегированной и легированной листовой стали для котлов и сосудов, работающих под давлением, в зависимости от ее категории по ГОСТ 5520-79

Нормируемая характеристика	Категория																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Химический состав	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Механические свойства при растяжении и изгиб в холодном состоянии	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ударная вязкость при температуре +20 °С	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ударная вязкость после механического старения	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ударная вязкость при:																	
-20 °С	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-40 °С	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-50 °С	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-60 °С	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-70 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Ударная вязкость после механического старения и при:																	
+20 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
-20 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
-40 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
-50 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
-60 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
-70 °С	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Предел текучести при повышенной температуре*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Предел текучести при повышенной температуре, ударная вязкость при одной из минусовых температур* и после механического старения	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+

Примечания: 1. Знак плюс означает, что испытания проводятся, знак минус — не проводятся.  
2. Знак \* указывает, что температура испытания должна оговариваться в заказе.

толщиной от 4 до 160 мм, предназначенные для изготовления деталей и частей котлов и сосудов, работающих под давлением при комнатной, повышенной и пониженной температурах.

Химический состав и механические свойства низколегированных сталей (16ГС, 17ГС, 17Г1С, 09Г2С и 10Г2С1) должны соответствовать ГОСТ 19282-73.

По размерам, предельным отклонениям и другим требованиям сталь должна соответствовать ГОСТ 19903-74\*.

Таблица 2.8. Предел текучести при повышенных температурах сталей по ГОСТ 5520-79

Марка стали	Предел текучести, кгс/мм <sup>2</sup> , при температуре, °С (не менее)						
	200	250	300	320	350	400	450
12К	18	17	14	—	12	10	8
15К	18	17	14	—	12	10	8
16К	21	19	16	—	14	12	10
18К	23	21	18	—	16	14	12
20К	22	20	18	—	16	14	12
22К	—	21	19	18	—	—	—
09Г2С	—	23	20	—	18	16	—
16ГС	—	23	20	—	18	16	—
10Г2С1	—	26	23	—	21	18	—
12Х1МФ	—	25	24	—	23	22	21
12ХМ	—	23	22	—	21	20	19
17ГС и 17Г1С	27	25	23	—	21	18	18

Примечание. Значения предела текучести для сталей марок 15К, 22К, 12Х1МФ, 12ХМ, 17ГС и 17Г1С указываются в документе о качестве и являются факультативными до 1 января 1985 г.

В зависимости от нормируемых характеристик сталь изготавливается 17 категорий (табл. 2.7). Категория устанавливается потребителем. При отсутствии указаний категория устанавливается предприятием-изготовителем.

Листы из стали марок 12К, 15К, 16К, 18К, 20К и 22К изготавливают категорий 1—5, 10, 11, 16; из стали марок 16ГС, 09Г2С, 10Г2С1 — категорий 1—17; из стали марок 17ГС и 17Г1С — категорий 1—6, 10—12; из стали марок 12ХМ, 12Х1МФ — категорий 1—3 и 16. Листы категорий 16 и 17 поставляют толщиной 12—60 мм.

Для стационарных трубопроводов по этому ГОСТ применяются углеродистые стали.

Предел текучести при повышенных температурах сталей по ГОСТ 5520-79 приведен в табл. 2.8.

ТУ 14-3-460-75. Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов. Технические условия.

Этим техническим условиям должны соответствовать углеродистая и низколегированная стали марок 20 и 15ГС, применяемые для труб трубопроводов высокого давления с  $p_{ном}$  44, 76, 40, 240, 185, 380 кгс/см<sup>2</sup> и температурами соответственно 340, 145, 440, 250, 215, 280 °С.

В табл. 2.9—2.13, 2.14—2.18, 2.19, 2.20 и 2.21 приведены для углеродистых и низколегированных трубопроводных сталей соответственно их химический состав, механические свойства, коэффициенты линейно-

го расширения и плотность, модули нормальной упругости и теплопроводность.

Продолжение табл. 2.10

**2.6 ЛЕГИРОВАННЫЕ ТРУБОПРОВОДНЫЕ СТАЛИ ПЕРЛИТНОГО КЛАССА АУСТЕНИТНЫЕ И ВЫСОКОХРОМИСТЫЕ СТАЛИ**

Легированные стали применяются для стационарных трубопроводов, длительно работающих при температуре более 450°C. Для стационарных трубопроводов применяются легированные стали по следующим ГОСТ и ТУ.

ГОСТ 4543-71\*. Сталь легированная конструкционная. Технические требования.

Настоящий стандарт распространяется на легированную, конструкционную горячекатаную и кованую сталь диаметром или толщиной до 250 мм, калиброванную сталь и серебрянку, применяемую в термически

Марка стали	Содержание элементов, %		
	C	Mn	Si
10	0,07—0,14	0,35—0,65	0,17—0,37
11кп	0,05—0,12	0,30—0,50	Не более 0,06
15кп	0,12—0,19	0,25—0,50	Не более 0,07
15пс	0,12—0,19	0,35—0,65	0,05—0,17
15	0,12—0,19	0,35—0,65	0,17—0,37
18кп	0,12—0,20	0,30—0,50	Не более 0,06
20кп	0,17—0,24	0,25—0,50	Не более 0,07
20пс	0,17—0,24	0,35—0,65	0,05—0,17
20	0,17—0,24	0,35—0,65	0,17—0,37
25	0,22—0,30	0,50—0,80	0,17—0,37
30	0,27—0,35	0,50—0,80	0,17—0,37
35	0,32—0,40	0,50—0,80	0,17—0,37
40	0,37—0,45	0,50—0,80	0,17—0,37
45	0,42—0,50	0,50—0,80	0,17—0,37
50	0,47—0,55	0,50—0,80	0,17—0,37
55	0,52—0,60	0,50—0,80	0,17—0,37
58(55пп)	0,55—0,63	Не более 0,2)	0,10—0,30
60	0,57—0,65	0,50—0,80	0,17—0,37

Примечание. Во всех марках сталей допускается не более: серы 0,04%, фосфора 0,035%, мышьяка 0,080%. Остаточное содержание меди и никеля не должно превышать 0,25% каждого. Для стали, изготовленной скрап-процессом, допускается содержание меди и никеля до 0,30% каждого. Содержание хрома не более: в сталях марок 05кп, 08кп, 08пс 0,8—0,10%, в сталях марок 10кп, 10пс, 10, 11кп, 18кп и 58—0,15%. в остальных марках сталей 0,25%. Содержание азота в кислородно-конверторной стали не должно превышать: для тонколистового проката и ленты 0,006%, для проката остальных видов 0,008%. В прокате и поковках при соблюдении норм механических свойств и других требований настоящего ГОСТ допускаются следующие отклонения: для сталей всех марок — по углероду ±0,01%, по марганцу ±0,03%, по фосфору не более +0,005%; для спокойных сталей всех марок — по кремнию ±0,02%.

Таблица 2.9. Химический состав углеродистых сталей обыкновенного качества группы В по ГОСТ 380-71\*

Марка стали	Содержание элементов, %		
	C	Mn	Si
ВСт1кп	0,06—0,12	0,25—0,50	Не более 0,05
ВСт1пс	0,06—0,12	0,25—0,50	0,05—0,17
ВСт1с	0,06—0,12	0,25—0,50	0,12—0,30
ВСт1Гпс	0,06—0,12	0,7—1,1	Не более 0,15
ВСт2кп	0,09—0,15	0,25—0,50	Не более 0,07
ВСт2пс	0,09—0,15	0,25—0,50	0,05—0,17
ВСт2с	0,09—0,15	0,25—0,50	0,12—0,30
ВСт2Гпс	0,09—0,15	0,7—1,1	Не более 0,15
ВСт3кп	0,14—0,22	0,30—0,60	Не более 0,07
ВСт3пс	0,14—0,22	0,40—0,65	0,05—0,17
ВСт3с	0,14—0,22	0,4—0,65	0,12—0,30
ВСт3Гпс	0,14—0,22	0,80—1,10	Не более 0,15
ВСт4кп	0,18—0,27	0,40—0,70	Не более 0,07
ВСт4пс	0,18—0,27	0,40—0,70	0,05—0,17
ВСт4с	0,18—0,27	0,40—0,70	0,12—0,30
ВСт4Гпс	0,18—0,27	0,8—1,2	Не более 0,15
ВСт5кп	0,28—0,37	0,50—0,80	0,05—0,17
ВСт5пс	0,28—0,37	0,50—0,80	0,15—0,35
ВСт5Гпс	0,22—0,30	0,80—1,20	Не более 0,15

Примечание. Для всех марок сталей допускается не более: фосфора 0,04%, серы 0,05% (по требованию потребителя содержание серы в стали этой группы должно быть не более 0,04%), хрома 0,30%, никеля 0,30%, меди 0,30%, мышьяка 0,08%. Для этих сталей отклонение от нижнего предела по содержанию углерода не является браковочным признаком. Верхний предел содержания марганца допускается на 0,2% выше указанного в таблице для всех марок сталей, кроме марок ВСт1Гпс, ВСт2Гпс, ВСт3Гпс, ВСт4Гпс.

Таблица 2.11. Химический состав низколегированных сталей по ГОСТ 19282-73, применяющихся для стационарных трубопроводов

Марка стали	Содержание элементов, %		
	C	Mn	Si
16ГС	0,12—0,18	0,90—1,20	0,40—0,70
17ГС	0,14—0,20	1,00—1,40	0,40—0,60
17Г1С	0,15—0,20	1,15—1,60	0,40—0,60
14ХГС	0,11—0,16	0,90—1,30	0,40—0,70
09Г2С	≤0,12	1,30—1,70	0,50—0,80
10Г2С1	≤0,12	1,30—1,65	0,80—1,10

Примечание. Во всех марках сталей допускается не более: серы 0,04%, фосфора 0,035%, мышьяка 0,08%, никеля и меди 0,30%, хрома 0,30%. кроме стали марки 14ХГС, где содержание хрома допускается 0,50—0,8%. Содержание остаточного азота не должно превышать 0,008%. Допускается наличие остаточного азота до 0,012%, но при этом независимо от категории сталь должна выдерживать испытание на механическое старение.

Таблица 2.10. Химический состав углеродистых качественных конструкционных сталей по ГОСТ 1050-74\*\*

Марка стали	Содержание элементов, %		
	C	Mn	Si
05кп	Не более 0,06	Не более 0,40	Не более 0,03
08кп	0,05—0,11	0,25—0,50	Не более 0,03
08пс	0,05—0,11	0,35—0,65	0,05—0,17
08	0,05—0,12	0,35—0,65	0,17—0,37
10кп	0,07—0,14	0,25—0,50	Не более 0,07
10пс	0,07—0,14	0,35—0,65	0,05—0,17

Таблица 2.12. Химический состав углеродистых и низколегированных сталей по ГОСТ 5520-79

Марки стали	Содержание элементов, %		
	C	Mn	Si
12К	0,08—0,16	0,40—0,70	0,17—0,37
15К	0,12—0,20	0,35—0,65	0,15—0,30
16К	0,12—0,20	0,45—0,75	0,17—0,37
18К	0,14—0,22	0,55—0,85	0,17—0,37

Продолжение табл. 2.12

Марки стали	Содержание элементов, %		
	C	Mn	Si
20K 22K	0,16—0,24 0,19—0,26	0,35—0,65 0,70—1,00	0,15—0,30 0,17—0,40
16ГС, 09Г2С, 10Г2С1, 17ГС, 17Г1С	По ГОСТ 19282-73		

Примечание. Для углеродистых сталей допускается содержание серы и фосфора не более 0,04%. По требованию потребителя содержание серы и фосфора в углеродистой и низколегированной сталях должно быть не более 0,35% и фосфора не более 0,03%. Доля хрома, никеля, меди в этих сталях не должна превышать 0,30% каждого, мышьяка не более 0,08%, остаточного азота не более 0,008%. Допускается доля остаточного азота до 0,012%, при этом независимо от категории сталь должна выдерживать испытание на механическое старение.

Таблица 2.13. Химический состав углеродистой и низколегированной сталей по ТУ 14-3-460-75

Марка стали	Содержание элементов, %		
	C	Mn	Si
20	0,17—0,24	0,35—0,65	0,17—0,37
15ГС	0,12—0,18	0,90—1,30	0,70—1,00

Примечание. Для стали марки 20 содержание не более: никеля 0,25%, меди 0,30%, серы 0,025% и фосфора 0,03%. Для стали марки 15ГС содержание не более: никеля 0,30%, меди 0,30%, серы 0,025% и фосфора 0,035%.

Таблица 2.14. Механические свойства углеродистых сталей обыкновенного качества группы В по ГОСТ 380-71\* при температуре +20°C

Марка стали	Временное сопротивление $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Ударная вязкость КС, кгс·м/см <sup>2</sup>	Относительное сужение $\psi$ , %
ВСт2кп	33—42	19—22	30—33	—	—
ВСт2пс; ВСт2сп	34—44	20—23	29—32	—	—
ВСт2Гпс	34—45	20—23	29—32	—	—
ВСт3кп	37—47	20—24	24—27	—	—
ВСт3пс; ВСт3сп	38—49	21—25	23—26	5—11	—
ВСт3Гпс	38—50	21—25	23—26	5—11	—
ВСт4кп	41—52	23—26	22—25	—	—
ВСт4пс; ВСт4сп	42—54	24—27	21—24	4—10	—
ВСт4Гпс	42—55	24—27	21—24	4—10	—
ВСт5пс; ВСт5сп	50—64	26—29	17—20	—	—
ВСт5Гпс	46—60	26—29	17—20	—	—

Примечание. Приведенные значения предела текучести и относительного удлинения даны в зависимости от толщины проката; значения ударной вязкости приведены в зависимости от вида проката (листовая или широкополосная сталь, сортовой и фасонный прокат) и его толщины; сталь подвергается также испытаниям на изгиб.

Таблица 2.15. Механические свойства углеродистых качественных конструкционных сталей по ГОСТ 1050-74\*\* при температуре +20°C

Марка стали	Временное сопротивление $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Ударная вязкость КС, кгс·м/см <sup>2</sup>	Относительное сужение $\psi$ , %
08	33	20	33	—	60
10	34(42; 30)	21	31(8; 26)	—	55(50; 55)
15	38(45; 35)	23	27(8; 23)	—	55(45; 55)
20	42(50; 40)	25	25(7; 21)	—	55(40; 50)
25	46(55; 42)	28	23(7; 19)	9	50(40; 50)
30	50(57; 45)	30	21(7; 17)	8	50(35; 45)
35	54(60; 48)	32	20(6; 15)	7	45(35; 45)
40	58(62; 52)	34	19(6; 14)	6	45(35; 40)
45	61(65; 55)	36	16(6; 13)	5	40(30; 40)
50	64(67; 57)	38	14(6; 12)	4	40(30; 40)
55	66	39	13	—	35
58	61	32	12	—	28
60	69	41	12	—	35

Примечание. Значения вне скобок даны для стали толщиной или диаметром до 80 мм, а также для стали 2-й категории. Значения в скобках даны для стали 5-й категории, причем первая цифра в скобках относится к нагарованной стали, вторая—к отожженной или высокоотпущенной стали. Нормы механических свойств сталей 3-й и 4-й категорий устанавливаются соглашением сторон.

Таблица 2.16. Механические свойства низколегированных сталей по ГОСТ 19282-73 при температуре +20°C, применяющихся для стационарных трубопроводов

Марка стали	Временное сопротивление $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Ударная вязкость КС, кгс·м/см <sup>2</sup>	Относительное сужение $\psi$ , %
16ГС	46—50	28—33	21	6	—
17ГС	50—52	34—35	23	—	—
17Г1С	52	35—36	23	—	—
14ХГС	50	35	22	—	—
09Г2С	44—50 (50)	27—35 (37)	21 (19)	6—6,5	—
10Г2С1	44—50 (54)	30—36 (40)	21 (19)	6—6,5	—

Примечание. Значения вне скобок даны для листовой стали в состоянии поставки в зависимости от толщины проката, например для стали марки 09Г2С толщиной 4—160 мм, для стали марки 10Г2С1 толщиной 4—100 мм. Значения в скобках даны для листовой стали марки 10Г2С1 толщиной 10—40 мм и стали марки 09Г2С толщиной 10—60 мм при их поставке после закалки с отпуском. Ударная вязкость листовой и универсальной стали после механического старения должна быть не менее 3 кгс·м/см<sup>2</sup>. Листы подвергаются также испытаниям на изгиб.

Таблица 2.17. Механические свойства углеродистых и низколегированных сталей по ГОСТ 5520-79 при температуре +20 °С

Марка стали	Временное сопротивление $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Ударная вязкость КС, кгс·м/см <sup>2</sup>	Относительное сужение $\psi$ , %
15К	38—49	21—23	25—27	6—7	—
16К	41—50	24—26	22	7	—
18К	44—53	26—28	20	6	—
20К	41—52	23—25	23—25	5—6	—
22К	Не менее 44	27	22	6	—

Примечания: 1. Для стали марок 16ГС, 09Г2С, 10Г2С1, 17ГС, 17Г1С механические свойства принимаются по ГОСТ 19282-73.

2. Приведенные значения даны для листов из углеродистой стали толщиной до 60 мм. Для углеродистой стали ударная вязкость после механического старения в зависимости от марки стали колеблется от 3 до 4 кгс·м/см<sup>2</sup>, за исключением стали марки 20К при толщине листа от 21 до 60 мм, для которой ударная вязкость после механического старения составляет 2,5 кгс·м/см<sup>2</sup>. Нормы ударной вязкости при температуре минус 20 °С, а также нормы механических свойств листов толщиной свыше 20 до 50 мм из стали марок 17ГС и 17Г1С устанавливаются по согласованию с потребителем. Листы подвергаются испытаниям на изгиб.

Таблица 2.18. Механические свойства углеродистой и низколегированной стали по ТУ 14-3-460-75 при температуре +20 °С

Марка стали	Временное сопротивление $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Ударная вязкость КС, кгс·м/см <sup>2</sup>	Относительное сужение $\psi$ , %
15ГС	50	30	16(18)	5(6)	40(45)

Примечание. Приведенные значения даны в зависимости от образцов для испытания труб в состоянии поставки; в скобках — характеристики для сталей, испытанных на продольных срезках.

Таблица 2.19. Температурные коэффициенты линейного расширения  $\alpha \cdot 10^6$ , мм/(мм·°С), и плотность  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>, углеродистых и низколегированных трубопроводных сталей в зависимости от температуры

Марка стали	Температура, °С					Плотность
	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	
08	11,60	12,60	13,00	9,68	9,20	7,83
08кп	11,66	12,32	—	—	—	—
10	11,60	12,60	—	13,00	—	7,83
15	11,90	12,50	13,00	13,60	14,20	7,85
20	11,10	12,10	12,70	13,40	13,90	7,85
25	12,18	12,66	13,08* <sup>2</sup>	13,47* <sup>4</sup>	13,92* <sup>5</sup>	7,82
30	11,10* <sup>1</sup>	11,90* <sup>2</sup>	16,70* <sup>3</sup>	13,40* <sup>4</sup>	14,00* <sup>5</sup>	7,85
35	11,10	11,90	—	13,40	—	7,85
40	12,40	12,60	14,50	13,30	—	7,81
45	11,59* <sup>1</sup>	12,32* <sup>2</sup>	13,09* <sup>3</sup>	13,71* <sup>4</sup>	—	7,85
50	12,00* <sup>1</sup>	12,40* <sup>2</sup>	12,90* <sup>3</sup>	13,30* <sup>4</sup>	13,70* <sup>5</sup>	7,81
55	11,00	11,80	12,60	13,40	14,00	7,82

Продолжение табл. 2.19

Марка стали	Температура, °С					Плотность
	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	
60	11,00	11,90	—	13,50	14,60	7,80
15К	—	12,10	13,10	13,70	—	7,85
20К	—	12,10	13,10	13,70	—	7,85
16ГС	13,00* <sup>1</sup>	14,00* <sup>2</sup>	15,30* <sup>3</sup>	16,20* <sup>4</sup>	16,10* <sup>5</sup>	—
14ХГС	12,00* <sup>1</sup>	12,50* <sup>2</sup>	13,00* <sup>3</sup>	13,50* <sup>4</sup>	14,00* <sup>5</sup>	—

\*<sup>1</sup> При 100 °С.  
\*<sup>2</sup> При 200 °С.  
\* При 300 °С.  
\*<sup>4</sup> При 400 °С.  
\*<sup>5</sup> При 500 °С.

Таблица 2.20. Модуль нормальной упругости  $E$ , кгс/мм<sup>2</sup>, углеродистых и низколегированных трубопроводных сталей в зависимости от температуры

Марка стали	Температура, °С				
	20	100	200	300	400
08	20 700	21 100	18 600	15 600	14 400
15	20 200	18 700	—	17 000	15 700
20	20 200	18 700	17 900	17 000	16 100
25	20 200	20 000	19 500	18 900	16 700
30	20 400	20 000	19 500	18 900	—
35	21 000	20 100	19 000	17 900	17 000
40	21 350	21 000	—	20 000	—
45	20 400	—	19 500	19 400	17 500
50	22 000	21 500	—	20 000	—
60	20 800	—	21 200	19 300	17 800
20К	20 400	20 000	19 500	18 800	18 000
22К	21 100	20 900	20 500	20 000	19 200
15ГС; 14ХГС	20 500	19 600	18 900	17 700	16 200

Таблица 2.21. Теплопроводность  $\lambda$ , кал/(см·с·°С), углеродистых трубопроводных сталей в зависимости от температуры

Марка стали	Температура, °С				
	20	100	200	300	400
08	—	0,144	0,165	—	0,123
10	—	0,136	0,126	0,107	0,090
15	—	0,136	0,126	—	—
20	—	0,121	0,116	0,110	0,101
25	0,124	0,122	0,117	0,110	0,102
30	0,121	—	0,116	—	0,101
35	—	0,121	0,116	—	0,101
40	—	0,142	0,127	0,112	0,098
45	—	0,115	0,111	0,105	0,098
50	—	—	0,109	0,104	0,095
55	—	0,162	0,132	—	0,085
60	—	0,161	0,127	—	0,086
15К	—	0,136	0,126	—	0,107
20К	—	0,121	0,116	0,110	0,101
22К	—	0,118	0,113	0,109	0,104

обработанном состоянии и поставляемую в прутках, полосах и мотках. В части нормативного состава стандарт распространяется на все другие виды проката, слитки, поковки и штамповки. По видам обработки сталь делится на горячекатаную, кованую, калиброванную, сталь круглую со специальной отделкой поверхности — серебрянку. В зависимости от назначения проката горячекатаная и кованая стали делятся на подгруппы: а — для горячей обработки давлением и холодного волочения (под-

Таблица 2.22. Химический состав легированных трубопроводных сталей перлитного класса

Марка стали	Содержание элементов, %										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	B	S	P	Cu
									Не более		
30X	0,24—0,32	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,30	—	—	—	0,035	0,035	0,30
35X	0,31—0,39	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,30	—	—	—	0,035	0,035	0,30
40X	0,36—0,44	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,30	—	—	—	0,035	0,035	0,30
12MX	0,09—0,16	0,17—0,37	0,40—0,70	0,40—0,70	≤0,30	0,40—0,60	—	—	0,025	0,030	0,20
12XM	≤0,16	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,30	0,40—0,55	—	—	0,040	0,040	0,20
15XM (по ГОСТ 4543-71*)	0,11—0,18	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,30	0,40—0,55	—	—	0,035	0,035	0,30
15XM (по ТУ 14-3-460-75)	0,10—0,15	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,25	0,40—0,55	—	—	0,025	0,035	0,02
30XM	0,26—0,34	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,30	0,15—0,25	—	—	0,035	0,035	0,30
30XMA	0,23—0,33	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,30	0,15—0,25	—	—	0,025	0,025	0,03
35XM	0,32—0,40	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,30	0,15—0,25	—	—	0,035	0,035	0,03
60C2	0,57—0,65	1,50—2,00	0,60—0,90	≤0,30	—	—	—	—	0,035	0,035	—
50XФА	0,46—0,54	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	—	—	0,10—0,20	—	0,035	0,035	—
12X1MФ (по ГОСТ 20072-74*)	0,08—0,15	0,17—0,37	0,40—0,70	0,90—1,20	≤0,30	0,25—0,35	0,15—0,30	—	0,025	0,030	0,20
12X1MФ (по ГОСТ 5520-79)	0,08—0,15	0,17—0,37	0,40—0,70	0,90—1,20	≤0,30	0,25—0,35	0,15—0,30	—	0,025	0,030	0,20
12X1MФ (по ТУ 14-3-460-75)	0,10—0,15	0,17—0,37	0,40—0,70	0,90—1,20	≤0,25	0,25—0,35	0,15—0,30	—	0,025	0,025	0,20
15X1M1Ф	0,10—0,15	0,17—0,37	0,40—0,70	1,10—1,40	≤0,25	0,90—1,10	0,20—0,35	—	0,025	0,025	0,25
12X2MФСР	0,08—0,15	0,40—0,70	0,40—0,70	1,60—1,90	≤0,25	0,50—0,70	0,20—0,25	0,002—0,005	0,025	0,025	0,25
25X1MФ(ЭИ10)	0,22—0,29	0,17—0,37	0,40—0,70	1,50—1,80	≤0,30	0,25—0,35	0,15—0,30	—	0,025	0,030	0,20
25X2M1Ф(ЭИ723)	0,22—0,29	0,17—0,37	0,40—0,70	2,10—2,60	≤0,30	0,90—1,10	0,30—0,50	—	0,025	0,030	0,20
20X1M1Ф1БР(ЭП44)	0,18—0,25	≤0,37	0,50—0,80	1,00—1,50	≤0,30	0,80—1,10	0,70—1,00	—	0,030	0,030	0,20
20X1M1Ф1ТР(ЭП182)	0,17—0,24	≤0,37	≤0,50	0,90—1,40	≤0,30	0,80—1,10	0,70—1,00	—	0,030	0,030	0,20

Примечание. В стали марки 20X1M1Ф1БР содержится: нобий 0,05—0,15%, титана 0,06%, бора 0,005%, церия 0,05—0,10%. В стали марки 20X1M1Ф1ТР содержится титана 0,05—0,12%, бора 0,005%. Содержание серы в стали, выплавлен-

ной методом электрошлакового переплава, должно быть не более 0,015%. Для стали марки 15X1M1Ф допускается содержание марганца до 0,90%; при выплавке этой стали в электропечах содержание углерода должно быть 0,1—0,16%.

Таблица 2.23. Механические свойства легированных трубопроводных сталей перлитного класса при температуре +20 °С

Марка стали	Временное сопротивление $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Ударная вязкость КС, кгс·м/см <sup>2</sup>	Относительное сужение $\psi$ , %	Режим термообработки, ГОСТ или ТУ
30X	90	70	12	7	45	ГОСТ 4543-71*
35X	93	75	11	7	45	ГОСТ 4543-71*
40X	100	80	10	6	45	ГОСТ 4543-71*
12MX	42	24	21	6	45	ГОСТ 20072-74*
12XM	43—45	23—25	18—22	4—6	—	ГОСТ 5520-79
15XM (ГОСТ 4543-71*)	45	28	21	12	55	ГОСТ 4543-71*
15XM (ТУ 14-3-460-75)	45—65	23—24	20—21	5—6	45—50	ТУ 14-3-460-75
30XM	95	75	11	8	45	ГОСТ 4543-71*
30XMA	95	75	12	9	50	ГОСТ 4543-71*
35XM	95	85	12	8	45	ГОСТ 4543-71*
60С2	130	120	6	—	25	ГОСТ 14959-79
50XФА	130	110	8	—	35	ГОСТ 14959-79
12X1MФ (ГОСТ 20072-74*)	48	26	21	10	55	ГОСТ 20072-74*
12X1MФ (ГОСТ 5520-79)	Не менее 45	30	21	8	—	ГОСТ 5520-79
12X1MФ (ТУ 14-3-460-75)	45—65	28—30	19—21	5—6	50—55	ТУ 14-3-460-75
15X1M1Ф	50—70	32	16—18	4—5	45—50	ТУ 14-3-460-75
12X2MФСР	48	28	21	—	—	ТУ 14-3-460-75
25X1MФ	90	75	14	6	50	ГОСТ 20072-74*
25X2M1Ф	80	68	12	5	50	ГОСТ 20072-74*
20X1M1Ф1БР	80	68	14	6	50	ГОСТ 20072-74*
20X1M1Ф1ТР	80	68	15	6	50	ГОСТ 20072-74*

Примечание. Приведенные значения даны для сталей по ГОСТ 4543-71\* для образцов, отобранных от прутков диаметром или толщиной 15,15 или 70 мм, для сталей по ГОСТ 20072-74\* — для образцов, отобранных от прутков диаметром или толщиной до 90 мм включительно, для стали марки 12XM — по ГОСТ 5520-79 для листов толщиной от 4 до 160 мм, а для стали марки 12X1MФ — для листов толщиной от 4 до 40 мм, для сталей по ТУ 14-3-460-75 — в зависимости от образцов для испытания для труб в состоянии поставки (первая цифра — для продольных, вторая — для поперечных образцов).

Таблица 2.24. Температурные коэффициенты линейного расширения  $\alpha \cdot 10^6$ , мм/(мм·°С), и плотность  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>, легированных трубопроводных сталей перлитного класса в зависимости от температуры

Марка стали	Температура, °С						Плотность
	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	
35X	11,30	12,00	12,90	13,70	14,20	14,60	—
40X	13,40	13,30	—	14,80	—	—	—
30XM, 30XMA	12,30	12,50	12,90	13,90	14,40	—	7,82
35XM	12,30	12,50	12,90	13,90	14,40	—	7,82
50XФА	12,40	12,80	13,40	13,90	14,20	—	7,81
12MX	11,20	12,50	12,70	12,90	13,20	13,50	7,85
15XM	11,90	12,60	13,20	13,70	14,00	14,30	7,85
12X1MФ	10,80	11,80	12,35	12,80	13,20	13,65	7,80
15X1M1Ф	11,20	11,70	12,50	13,00	13,50	13,70	7,80
12X2MФСР	10,95	11,95	12,65	13,15	13,70	14,00	7,80
25X1MФ	10,90	12,00	12,70	13,65	13,72	13,82	7,82
25X2M1Ф	12,50	12,90	13,30	13,70	14,00	14,70	7,80
20X1M1Ф1ТР	—	12,00	12,30	12,85	13,00	13,50	7,85
20X1M1Ф1БР	—	—	—	—	—	14,50	7,90

Таблица 2.25. Модуль нормальной упругости  $E$ , кгс/мм<sup>2</sup>, легированных трубопроводных сталей перлитного класса в зависимости от температуры

Марка стали	Температура, °С						
	20	100	200	300	400	500	600
40X	21 850	—	—	20 100	—	—	—
30XM, 35XM	21 300	—	20 800	20 100	19 200	—	—
50XФА	20 000	—	—	—	—	—	—
60С2	25 000	—	—	—	—	—	—
12MX	21 600	21 000	20 450	19 900	19 300	18 250	17 350
15XM	20 800	—	—	—	17 200	—	—
12X1MФ	21 300	21 000	20 600	20 100	19 300	18 300	16 900
15X1M1Ф	21 400	20 800	20 100	19 400	18 600	17 700	16 900
25X1MФ	21 700	21 100	20 600	19 800	19 100	18 000	16 700
25X2M1Ф	22 300	21 800	21 300	20 700	20 000	19 200	18 300
20X1M1Ф1БР	21 700	21 100	20 500	19 600	18 800	18 000	16 700
20X1M1Ф1ТР	21 500	21 200	20 800	20 200	19 400	18 300	17 000

Таблица 2.26. Теплопроводность  $\lambda$ , кал/(см·с·°С), легированных трубопроводных сталей перлитного класса в зависимости от температуры

Марка стали	Температура, °С						
	20	100	200	300	400	500	600
40X	—	0,110	0,102	0,094	0,085	—	—
30XM	0,102	0,085	0,082	0,078	—	0,740	—
35XM	—	0,085	0,082	0,078	—	—	—
50XФА	0,095	—	—	—	—	—	—
12MX	—	0,120	0,120	0,120	0,116	0,112	0,110
15XM	—	0,106	0,102	0,099	0,092	0,086	0,080
12X1MФ	0,085	0,085	0,085	0,084	0,080	0,077	0,073
15X1M1Ф	—	0,099	0,096	0,092	0,088	0,085	0,081
12X2MФCP	0,079	—	—	—	—	—	—
25X1MФ	—	0,100	0,099	0,098	0,094	—	—
25X2M1Ф	—	0,078	0,076	0,072	0,068	0,067	0,063
20X1M1Ф1БP	—	0,098	0,110	0,115	0,120	0,126	0,134
20X1M1Ф1TP	—	0,101	0,097	0,096	0,095	0,094	0,093

Таблица 2.27. Химический состав легированных аустенитных и высокохромистых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %				
	C	Si	Mn	Cr	Ni
12X11B2MФ (ЭИ756)	0,09—0,14	≤0,50	0,50—0,80	10,00—12,00	≤0,60
12X18H10T	≤0,12	≤0,80	≤2,00	17,00—19,00	9,00—11,00
12X18H12Г (ТУ 14-3-460-75)	≤0,12	≤0,80	1,00—2,00	17,00—19,00	11,00—13,00
12X18H12Г (ГОСТ 5632-72*)	≤0,12	≤0,80	≤2,00	17,00—19,00	11,00—13,00
09X14H19B2BP1 (ЭИ726)	0,07—0,12	≤0,60	≤2,00	13,00—15,00	18,00—20,00
XH35BT (ЭИ612)	≤0,12	≤0,60	1,00—2,00	14,00—16,00	34,00—38,00
13H11H2B2MФ (ЭИ961)	0,10—0,16	≤0,60	≤0,60	10,50—12,00	1,50—1,80
18X12BMБФP (ЭИ993)	0,15—0,22	≤0,50	≤0,50	11,00—13,00	—
20X12BHMФ (ЭП428)	0,17—0,23	≤0,60	0,50—0,90	10,50—12,50	0,50—0,90
31X19H9MBBT (ЭИ572)	0,28—0,35	≤0,80	0,80—1,50	18,00—20,00	8,00—10,00
09X14H19B2BP (ЭИ695P)	0,07—0,12	≤0,60	≤2,00	13,00—15,00	18,00—20,00

Продолжение табл. 2.27

Марка стали	Содержание элементов, %					
	Mo	V	W	S	P	Cu
12X11B2MФ (ЭИ756)	0,60—0,90	0,15—0,30	1,70—2,20	0,025	0,025	0,30
12X18H10T	—	—	—	0,020	0,035	0,30
12X18H12Г (ТУ 14-3-460-75)	—	—	—	0,020	0,035	0,30
12X18H12Г (ГОСТ 5632-72*)	—	—	—	0,020	0,035	0,30
09X14H19B2BP1 (ЭИ726)	—	—	2,00—2,80	0,020	0,035	0,30
XH35BT (ЭИ612)	—	—	2,8—3,5	0,020	0,030	0,25
13H11H2B2MФ (ЭИ961)	0,35—0,50	0,18—0,30	1,60—2,00	0,025	0,030	0,30
18X12BMБФP (ЭИ993)	0,40—0,60	0,15—0,30	0,40—0,70	0,025	0,030	0,30
20X12BHMФ (ЭП428)	0,50—0,70	0,15—0,30	0,70—1,10	0,025	0,030	0,30
31X19H9MBBT (ЭИ572)	1,00—1,50	—	1,00—1,50	0,020	0,035	0,30
09X14H19B2BP (ЭИ695P)	—	—	2,00—2,80	0,020	0,035	0,30

Примечание. В стали марки 12X18H10T содержится титана не более 0,80%, в стали марки 12X18H12Г—не более 0,70%. В стали марок 09X14H19B2BP1 и 09X14H19B2BP содержится ниобия 0,90—1,3%, цинка—не более 0,02%; бора в стали марки 09X14H19B2BP1—не более 0,025%, в стали 09X14H19B2BP—не более 0,005%.

В стали марки XH35BT содержится титана 1,1—1,5%; в стали марки 18X12BMБФP—ниобия 0,2—0,4%, бора—не более 0,003%; в стали марки 31X19H9MBBT—титана 0,2—0,5%, ниобия 0,2—0,5%; в стали марка 18X12BMБФP—ниобия 0,2—0,4%, бора не более 0,003%.

Таблица 2.23. Механические свойства легированных трубопроводных аустенитных и высокохромистых сталей при температуре +20 °С

Марка стали	Временное сопротивление $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Ударная вязкость КС, кгс·м/см <sup>2</sup>	Относительное сужение $\psi$ , %	Режим термобработки (откл. ГОСТ или ТУ)
12X11B2MФ (ЭИ756)	60	40	17	5	45	ТУ 14-3-46 0-75
12X18H10T	52	20	40	—	55	ГОСТ 5949-75*
12X18H12Г	55(51)	20(22)	40(35)	—	55	ГОСТ 5949-75*
09X14H19B2BP1 (ЭИ726)	52	22	30	—	44	ГОСТ 5949-75*
XH35BT (ЭИ612)	76	40	15	6	25	—
13H11H2B2MФ (ЭИ961)	90	75	15	9	55	ГОСТ 5949-75*
18X12BMБФP (ЭИ993)	75	50	12	4	45	ГОСТ 5949-75*
20X12BHMФ (ЭП428)	75	60	15	6	50	ГОСТ 5949-75*
31X19H9MBBT (ЭИ572)	60	30	30	—	40	ГОСТ 5949-75*
09X14H19B2BP (ЭИ695P)	52	22	35	—	50	ГОСТ 5949-75*

Примечание. Значения, стоящие в скобках, относятся к стали, выпускаемой по ТУ 14-3-460-75, и относятся к образцам из труб в состоянии поставки. Значения для сталей по ГОСТ 5949-75\* даны для образцов, отобранных от стали диаметром или толщиной до 60 мм.

Таблица 2.29. Температурные коэффициенты линейного расширения  $\alpha \cdot 10^6$  мм/(мм·С°), и плотность  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>, легированных трубопроводных аустенитных и высокохромистых сталей в зависимости от температуры

Марка стали	Температура, °С						Плотность
	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	
12X11В2МФ (ЭИ756)	10,70	—	12,60	—	—	13,30—14,00	7,85
12X18Н10Т	16,60	17,00	17,20	17,50	17,90	18,20	7,90
12X18Н12Т	16,60	17,00	17,20	17,50	17,90	18,20	7,90
09X14Н19В2БР1 (ЭИ723)	15,20	16,30	16,90	17,50	17,80	18,10	8,12
ХН35ВТ (ЭИ612)	14,80	15,10	15,50	15,90	16,10	16,60	8,16
18X12ВМФР (ЭИ993)	11,15	11,30	11,42	11,80	12,00	12,15	7,85
20X12ВНМФ (ЭП428)	10,00	10,50	10,70	11,00	11,20	11,60	7,85
31X19Н9МВБТ (ЭИ572)	—	—	—	16,02	16,37	16,75	7,96
09X14Н19В2БР (ЭИ695Р)	15,90	16,50	17,20	17,60	18,00	18,30	8,12

Таблица 2.30. Модуль нормальной упругости  $E$ , кгс/мм<sup>2</sup>, легированных трубопроводных аустенитных и высокохромистых сталей в зависимости от температуры

Марка стали	Температура, °С						
	20	100	200	300	400	500	600
12X11В2МФ (ЭИ756)	21 200	20 800	20 300	19 500	18 600	17 300	16 400
12X18Н10Т	21 200	19 800	19 300	18 500	17 700	16 900	16 000
12X18Н12Т	20 200	19 800	19 300	18 500	17 700	16 900	16 000
09X14Н19В2БР1 (ЭИ723)	20 200	19 900	19 300	18 600	17 800	16 900	16 000
ХН35ВТ (ЭИ612)	20 200	19 900	19 400	19 000	18 300	18 000*	17 700**
18X12ВМФР (ЭИ993)	22 800	—	21 500	20 900	19 500	18 800	17 300
20X12ВНМФ (ЭП428)	21 600	—	—	20 000	19 400	18 400	16 600
31X19Н9МВБТ (ЭИ572)	20 500	—	—	19 000	18 500	17 900	17 000
09X14Н19В2БР (ЭИ695Р)	21 750	—	—	—	—	15 000	15 900

\*1 Для температуры 450°С.

\*\*2 Для температуры 500°С.

Таблица 2.31. Теплопроводность  $\lambda$ , кал/(см·с·°С), легированных трубопроводных аустенитных и высокохромистых сталей в зависимости от температуры

Марка стали	Температура, °С						
	20	100	200	300	400	500	600
12X11В2МФ (ЭИ756)	—	0,060	0,058	0,058	0,055	0,052	0,050
12X18Н10Т	0,036	0,039	0,042	0,045	0,051	0,055	0,059
12X18Н12Т	0,036	0,039	0,042	0,045	0,051	0,055	0,059
09X14Н19В2БР1 (ЭИ723)	0,038	0,039	0,039	0,043	0,046	0,051	0,055
ХН35ВТ (ЭИ612)	—	0,032	0,037	0,041	0,045	0,049	0,053
18X12ВМФР (ЭИ993)	—	—	0,052—0,064	0,057—0,070	0,060—0,070	0,063—0,080	0,065—0,080
20X12ВНМФ (ЭП428)	—	—	0,059	0,061	0,062	0,063	0,064
31X19Н9МВБТ (ЭИ572)	—	0,036	0,039	0,044	0,048	0,052	0,056
09X14Н19В2БР (ЭИ695Р)	0,036	—	—	—	—	—	—

кат); б — для холодной механической обработки (обточки, строжки, фрезерования и др.) по всей поверхности. Назначение стали (подгруппы) должно быть указано в заказе. По этому ГОСТ стали марок 35Х, 40Х, 30ХМ, 30ХМА и 35ХМ применяются для крепежных изделий трубопроводов, сталь марки 15ХМ — для поковок и листов.

ГОСТ 5632-72\*. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки и технические требования.

Настоящий стандарт распространяется на деформируемые стали и сплавы на железной, железоникелевой и никелевой основах, предназначенные для работы в коррозионно-активных средах и при высоких температурах. В зависимости от основных свойств стали и сплавы по этому ГОСТ подразделяются на следующие группы: I — коррозионностойкие (нержавеющие) стали и сплавы, обладающие стойкостью против

электрохимической и химической коррозии; II — жаростойкие (окалиностойкие) стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550°С, работающие в ненагруженном или слабо нагруженном состоянии; III — жаропрочные стали и сплавы, способные работать в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени и обладающие при этом достаточной жаростойкостью. Сталь марок 12X18Н12Т и 12X18Н10Т в стационарных трубопроводах используются для поковок и листов, сталь марки ХН35Т (ЭИ612) применяется для крепежных изделий.

ГОСТ 20072-74\*. Сталь теплоустойчивая.

Этот ГОСТ распространяется на легированные теплоустойчивые стали перлитного и мартенситного классов — горячекатаную и кованую диаметром или толщиной до 200 мм, калиброванную, поставляемую в



прутках, полосах и мотках. Сталь предназначена для изготовления деталей, работающих в нагруженном состоянии при температуре до 600°C в течение длительного времени. По нормам на химический состав ГОСТ распространяется на слитки, все виды проката, поковки и штамповки. По видам обработки сталь подразделяется на горячекатаную, кованую, калиброванную, шлифованную. По состоянию материала сталь подразделяется на сталь без термической обработки, термически обработанную — Т, нагартованную — Н (для калиброванной стали). В зависимости от назначения горячекатаная и кованая стали подразделяются на подгруппы: а — для горячей обработки давлением; б — для холодной механической обработки (обточки, строжки и др.); в — для холодного волочения (подкат). Назначение стали (подгруппа) должно быть указано в заказе. Для стационарных трубопроводов применяются стали марок: 12Х1МФ для листов и поковок, 12МХ для листов, 25Х1МФ (ЭИ10), 25Х2М1Ф (ЭИ723), 20Х1М1Ф1БР (ЭП44) и 20Х1М1Ф1ТР (ЭП182) для крепежных изделий.

**ГОСТ 5949-75\***. Сталь сортовая и калиброванная коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические требования.

Этот ГОСТ распространяется на горячекатаную и кованую стали диаметром, стороной квадрата или толщиной до 200 мм, калиброванную сталь диаметром или стороной квадрата до 70 мм, шлифованную и

обточенную коррозионностойкую, жаростойкую и жаропрочную. Горячекатаная и кованая стали в зависимости от назначения делятся на подгруппы: а — для горячей обработки давлением и холодного волочения; б — для механической обработки (точения, строгания, фрезерования и др.). По состоянию материала сталь делится на нагартованную — Н, без термообработки, термически обработанную (отожженную или отпущенную) — Т. По этому ГОСТ для стационарных трубопроводов применяются стали марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 18Х12ВМБФР (ЭИ993), 13Х12Н2В2МФ (ЭИ961) и 31Х19Н9МВБТ (ЭИ572) для крепежных изделий.

**ТУ 14-3-460-75.** Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов. Технические условия.

Этим техническим условиям должны соответствовать стали марок 15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 12Х2МФСР, 12Х11В2МФ (ЭИ756) и 12Х18Н12Т, применяющиеся для труб трубопроводов высокого давления.

В табл. 2.22—2.26 для легированных трубопроводных сталей перлитного класса приведены соответственно их химические составы, механические свойства, коэффициенты линейного расширения и плотность, модули нормальной упругости и теплопроводность.

В табл. 2.27—2.31 приведены соответственно те же данные, но для трубопроводных аустенитных и высокохромистых сталей.

## Раздел третий

### ТРУБЫ И ДЕТАЛИ СТАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

#### 3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Трубы, как правило, изготавливаются и поставляются специализированными заводами Министерства черной металлургии СССР. Трубы характеризуются размером наружного диаметра, толщиной стенки, длиной, а также материалом, способом изготовления, качеством. Эти показатели определяют область применения труб и должны отвечать требованиям технических условий на их поставку.

По размеру наружного диаметра, мм, трубы подразделяются на несколько групп:

Трубы малых размеров (капиллярные) . . . . .	0,3—4,8
Трубы малых размеров . . . . .	5,0—102
Трубы средних размеров . . . . .	102,0—426
Трубы больших размеров . . . . .	Свыше 426

По форме различают трубы круглые, профильные, переменного сечения и гнутые. В зависимости от материала, из которого изготовлены трубы, последние делятся на металлические и неметаллические. Металлические трубы изготавливаются из

стали и ее сплавов, из цветных металлов и чугуна. К неметаллическим относятся трубы из полимеров, стекла, бетона и ряда других материалов. Металлические трубы делятся на трубы бесшовные, сварные, литые и паяные. Бесшовные трубы, в свою очередь, в зависимости от технологии их производства, подразделяются на холодно-, тепло- и горячедеформированные. К горячедеформированным трубам относятся горячекатаные трубы, а также трубы, изготовленные непрокатными методами. К холоднодеформированным трубам относятся холодно- и теплокатаные и холодноволокоченные трубы, а также трубы, полученные редуцированием.

Для производства бесшовных горячекатаных труб используются сплошные нагретые трубные заготовки, в которых «прошивают» отверстие. Из полученных таким образом гильз или стаканов после ряда технологических операций (повторного нагрева, проката, раскатки, калибровки и др.) получают трубы.

К непрокатным способам изготовления

бесшовных труб относятся ковка, сверление, прессование и центробежная отливка.

Для изготовления особо толстостенных труб из легированных сталей применяется ковка и сверление, при этом изготавливается кованая заготовка, которая после обдирки имеет наружные размеры (диаметр и длину) изготавливаемой трубы. Затем на станах глубокого сверления в этой заготовке высверливают отверстие, равное внутреннему диаметру трубы, после чего труба термически обрабатывается и отделяется. Ковано-сверленные трубы применяются для трубопроводов высокого и сверхвысокого давления.

Принцип изготовления труб прессованием заключается в том, что в круглой трубной заготовке сначала высверливается отверстие диаметром, равным внутреннему диаметру трубы. Затем горячая трубная заготовка выдавливается пуансоном через кольцевое отверстие в матрице, наружный диаметр которого соответствует наружному диаметру изготавливаемой трубы.

В процессе прессования металл подвергается всестороннему сжатию, поэтому оказывается возможным выпрессовывание труб из малопластичных труднопрошиваемых материалов, например из высоколегированных нержавеющей сталей. Этот способ позволяет также изготавливать биметаллические трубы.

Изготовление труб способом центробежной отливки заключается в том, что жидкий металл в количестве, требуемом для изготовления данной трубы, заливается через воронку в горизонтальную изложницу в виде барабана, которая затем начинает вращаться. Жидкая сталь под действием центробежной силы равномерно растекается по внутренней поверхности изложницы, принимая форму трубы. Изложница заключена в кожух. Для отвода теплоты внутрь кожуха подают охлаждающую воду, в результате чего образовавшаяся труба затвердевает и остывает. Центробежная отливка труб имеет следующие положительные особенности: охлаждение металла происходит постепенно от наружной поверхности трубы к внутренней, что способствует равномерной и направленной его кристаллизации и получению труб без усадочных раковин и рыхлостей; более легкие, чем металл, неметаллические включения вытесняются на поверхность трубы, что способствует повышению чистоты и улучшению механических свойств металла труб; под влиянием действия центробежных сил в период затвердевания металл трубы приобретает мелкозернистое строение, что повышает ее качество. Кроме того, этот способ приводит к значительной экономии металла. Центробежная отливка дает возможность получать трубы из высоколегированных (аустенитных) сталей, прошивка и прокат которых на обычных трубопрокатных станах затруднены. В настоящее время имеются утвержденные технические условия

на производство опытной партии таких труб (ТУ 14-3-936-80).

Качество труб во многом зависит от качества заготовок, применяемых для их изготовления, и от способа производства самих труб.

В зависимости от марки стали, способа изготовления и размеров труб, а также требований к их качеству для производства бесшовных труб используют литые заготовки (слитки), катаные и кованые заготовки. Менее качественными из этих заготовок являются слитки (литые заготовки).

Литая заготовка — это слиток, полученный в изложнице. Таким заготовкам присущ ряд дефектов, к которым относятся усадочные раковины газовые и подкорковые пузыри, продольные и поперечные трещины, сторонние включения в виде кусочков огнеупорного кирпича, песка и др.

Катаные заготовки получают путем пропуска нагретых или холодных заготовок (слитков, блюмсов, слябов) между вращающимися валками прокатных станов. Кованая заготовка получается при ударных (динамических) нагрузках или медленных (статических) воздействиях давления пресса на заготовку, при этом изменяется не только форма заготовки, но и структура металла в ней. Катаные и кованые заготовки по сравнению с литыми не имеют усадочных раковин и других дефектов, присущих металлам при литье, и обладают более точными размерами и чистой поверхностью, что позволяет получать из них более качественные трубы.

В отдельных случаях, когда к трубам предъявляются повышенные требования, а металл предрасположен к образованию плен и трещин (обычно легированный), заготовки обдирают на токарных и фрезерных станках, удаляя наружный слой металла, а вместе с ним и поверхностные дефекты. В ряде случаев при изготовлении ответственных видов труб (для трубопроводов высокого давления) из качественных и высококачественных сталей заготовки подвергают сверлению, что позволяет устранить осевую рыхлость заготовки, являющуюся причиной появления внутренних плен в трубах.

Основной особенностью изготовления бесшовных холодно- и теплодеформированных труб является в этом случае использование в качестве заготовки холодных или слабо нагретых горячедеформированных труб большего диаметра. Трубы изготавливаются способами холодного волочения, или холодной прокатки, или одновременно тем и другим. Принцип холодного волочения труб заключается в протягивании через волочильное кольцо малого диаметра трубы-заготовки большего диаметра с вставленной в нее специальной оправкой. Возможно волочение и без оправки.

Холодная прокатка труб заключается в том, что труба прокатывается на лопаточ-

ской оправке, а калибры двигаются взад и вперед, перекатываясь по трубе. Эти способы дают возможность получать тонкостенные бесшовные трубы малого диаметра, которые нельзя изготовить горячей прокаткой. Качество холоднодеформируемых труб в значительной степени зависит от качества горячекатаных труб-заготовок. Процесс получения холоднодеформированных труб связан с рядом сложных подготовительных операций обработки заготовки перед ее холодным волочением или прокаткой. К ним относятся травление трубы-заготовки для удаления окалина, покрытие труб смазкой с целью уменьшения коэффициента трения волочения и прокатки, термическая обработка.

Обработка труб в холодном состоянии по сравнению с горячей их прокаткой — процесс более трудоемкий и дорогостоящий.

Сварные трубы подразделяются на электросварные и трубы печной и газовой сварки. Электросварными называются трубы, полученные любыми видами электросварки (электросварка сопротивлением, дуговая сварка, радиочастотная и др.). В зависимости от расположения сварного шва электросварные трубы подразделяются на прямошовные, трубы со спиральным швом и швом внахлестку. Эти трубы могут выполняться с односторонним или двусторонним (внутренним и наружным) швом. Качество этих труб также зависит от качества их заготовок, т. е. листов и полос, в которых возможен ряд дефектов в виде закатанных неметаллических включений, следов усадочных раковин, плен и т. п. По качеству трубы должны отвечать требованиям технических условий, по которым они поставляются. Технология производства спирально-шовных труб более проста, чем труб с прямым швом.

Металл трубных заготовок в процессе получения из них труб подвергается механическим и термическим воздействиям, вследствие чего его свойства в готовых трубах могут отличаться от свойств исходного материала заготовки. Готовые трубы должны подвергаться испытаниям и иметь гарантируемые (нормируемые) свойства согласно требованиям ТУ, по которым они поставляются.

Размеры труб определяются ГОСТ или ТУ на их сортамент, а качество — соответствующими ГОСТ или ТУ на технические требования по этим трубам.

ГОСТ на сортамент труб лимитирует их диаметр и толщину стенки, длину, а также содержит данные по овальности, кривизне, разностенности труб и допускаемые отклонения по всем этим размерам.

ГОСТ или ТУ на технические требования к трубам определяет марку и химический состав стали, гарантируемые механические свойства стали в готовых трубах, необходимость и режим термической обработки, все виды испытаний, которым подвергаются данные трубы, и их результаты, условия поставки, маркировку и т. д.

Некоторые ГОСТ и ТУ объединяют в себе и сортамент, и технические требования.

Трубы стационарных трубопроводов в зависимости от параметров и свойств транспортируемой ими среды различаются по материалу (марка стали), типу (бесшовные или сварные), диаметру (в зависимости от расходов среды), толщине стенки, допускаемым отклонениям размеров, необходимым гарантируемым свойствам и объему испытаний.

Диаметр труб и толщина их стенки являются величинами расчетными. Методики расчета диаметров труб стационарных трубопроводов и толщины их стенки приведены соответственно в § 8.2 и 10.2 справочника.

Трубы стационарных трубопроводов и их полуфабрикаты (листы, стальные поковки, отливки и т. п.) должны применяться согласно Правилам Госгортехнадзора СССР.

Ограничительный сортамент труб для стационарных трубопроводов и детали для них должны применяться по отраслевым стандартам, разработанным в соответствии с вышеуказанными Правилами.

### 3.2. УСЛОВНЫЕ ПРОХОДЫ ТРУБ; УСЛОВНЫЕ, РАБОЧИЕ И ПРОБНЫЕ ДАВЛЕНИЯ

Для упрощения обозначения диаметров труб, арматуры, фланцев и прочего введено понятие условного прохода (диаметра) —  $D_y$ . Под условным проходом трубопроводной арматуры, соединительных частей и трубопроводов следует понимать номинальный внутренний диаметр трубопровода.

Как упоминалось выше, условия работы стационарных трубопроводов характеризуются в том числе и сочетанием температуры и давления транспортируемой ими среды. В ГОСТ 356-80 «Арматура и детали трубопроводов. Давления условные, пробные и рабочие. Ряды», распространяющемся на арматуру и детали трубопроводов (тройники, колена, отводы, переходы, фланцы и т. п.), устанавливаются ряды условных, пробных и рабочих давлений и вводится понятие условного давления  $p_y$ , позволяющее значительно упростить обозначение области применения труб, арматуры и деталей трубопроводов. Этот ГОСТ по Правилам Госгортехнадзора СССР распространяется на трубы и детали трубопроводов тепловых электростанций. Однако он не распространяется на трубопроводы в собранном виде, для которых давление гидравлического испытания должно приниматься согласно Правилам.

Условное давление определяет ряд допустимых сочетаний рабочих (избыточных) давлений и температур для определенных марок сталей, при которых должна обеспечиваться надежная работа труб и элементов трубопроводов из соответствующего материала.

Таблица 3.1. Давления (избыточные) условное, пробное и рабочее для арматуры и деталей трубопроводов тепловых электрических станций по ГОСТ 356-80

Марка стали	Наибольшая температура среды, °С												
	200	250	300	350	400	425	435	445	455	—	—	—	—
Ст3 по ГОСТ 380-71*; 10, 20, 25 по ГОСТ 1050-74**; 20Л и 25Л по ГОСТ 977-75; 15ГС* и 20ГСЛ*; 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 03Г2С, 10Г2С1 по ГОСТ 19282-73	200	250	300	350	400	425	435	445	455	—	—	—	—
12МХ по ГОСТ 20072-74*	200	320	450	490	500	510	515	520	530	—	—	—	—
15ХМ по ГОСТ 4543-71 и 20ХМЛ*	200	320	450	490	500	510	515	525	—	535	545	—	—
12Х1МФ по ГОСТ 20072-74* и 20ХМФЛ*, 15Х1М1Ф* и 15Х1М1ФЛ*	200	320	450	—	510	520	530	540	—	560	—	550	570
08Х18Н10Т, 08Х22Н6Т, 12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 45Х14Н14В2М по ГОСТ 5632-72*; 10Х18Н9Л, 14Х18Н4Г4Л по ГОСТ 2176-77; Х16НМ2*	200	300	400	480	520	560	590	610	—	—	—	—	—

Условное давление $p_y$ , кгс/см <sup>2</sup>	Пробное давление $p_{пр}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Рабочее давление $p_p$ , кгс/см <sup>2</sup>												
1,0	2,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	—	—	—	0,4	—
1,6	3,0	1,6	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,8	0,6	—	—	—	0,6	—
2,5	4,0	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,6	0,9	0,7
4,0	6,0	4,0	3,5	3,0	2,6	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,0	1,4	1,2
6,3	9,0	6,0	5,4	4,8	4,0	3,7	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1	1,7	2,3	1,9
10,0	15,0	10,0	9,0	7,5	6,6	5,8	5,0	4,5	4,2	3,6	3,3	2,7	3,6	3,0
16,0	24,0	16,0	14,0	12,0	11,0	9,0	8,0	7,0	6,2	5,7	5,2	4,3	5,7	5,0
25,0	38,0	25,0	23,0	19,0	17,0	15,0	13,0	11,0	10,0	9,0	8,2	6,4	9,0	7,4
40,0	60,0	40,0	35,0	30,0	26,0	23,0	20,0	18,0	16,0	14,0	13,0	10,4	14,0	12,0
63,0	95,0	63,0	54,0	48,0	40,0	37,0	32,0	28,0	25,0	23,0	21,0	17,0	23,0	19,0
100,0	150,0	100,0	90,0	75,0	66,0	58,0	50,0	45,0	42,0	36,0	33,0	27,0	36,0	30,0
125,0	190,0	125,0	113,0	94,0	83,0	73,0	65,0	55,0	50,0	45,0	41,0	33,0	45,0	38,0
160,0	240,0	160,0	140,0	120,0	110,0	90,0	80,0	70,0	62,0	57,0	52,0	43,0	57,0	50,0
200,0	300,0	200,0	180,0	150,0	130,0	115,0	100,0	90,0	84,0	72,0	65,0	54,0	72,0	60,0
250,0	350,0	250,0	230,0	190,0	170,0	150,0	130,0	110,0	100,0	90,0	82,0	64,0	90,0	74,0
320,0	450,0	320,0	280,0	240,0	220,0	170,0	150,0	140,0	124,0	114,0	105,0	85,0	114,0	100,0
400,0	560,0	400,0	350,0	300,0	260,0	230,0	200,0	180,0	160,0	140,0	130,0	104,0	140,0	120,0
500,0	650,0	500,0	450,0	370,0	330,0	290,0	250,0	225,0	210,0	180,0	165,0	135,0	180,0	150,0
630,0	800,0	630,0	540,0	480,0	400,0	370,0	320,0	280,0	250,0	230,0	210,0	170,0	230,0	190,0
800,0	1000,0	800,0	700,0	600,0	520,0	460,0	400,0	360,0	320,0	280,0	260,0	215,0	280,0	240,0
1000,0	1250,0	1000,0	900,0	750,0	660,0	580,0	500,0	450,0	420,0	360,0	330,0	270,0	360,0	300,0

Примечания: 1. Марки стали, обозначенные знаком \*, следует применять по нормативно-технической документации.

2. Допускается применять стали других марок с механическими свойствами и характеристиками прочности, обеспечивающими эксплуатацию арматуры и деталей трубопроводов в пределах давлений и температур, указанных в таблице.

3. Первая ступень рабочего давления распространяется на температуры среды не ниже:

—20 °С для сталей марок Ст3, 10, 15, 23, 25, 12Х1МФ, 20ХМФЛ, 15Х1М1Ф, 15Х1М1ФЛ;

—30 °С для бесшовных труб из стали марок 10 и 20;

—40 °С для сталей марок 15ГС, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 20Л, 25Л, 20ГСЛ, 12МХ, 15ХМ, 20ХМЛ;

—70 °С для сталей марок 09Г2С и 10Г2С1.

—80 °С для сталей марок 08Х18Н10Т, 03Х22Н6Т, 12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 45Х14Н14В2М, 10Х18Н9Л, 14Х18Н4Г4Л и Х16НМ2.

4. Рабочие давления для промежуточных значений температуры среды должны определяться линейной интерполяцией между ближайшими значениями, указанными в таблице.

5. Рабочие давления, относящиеся к температурам, при которых имеет место ползучесть металла, приведены для ресурса работы в 100 тыс. ч.

Под условным давлением понимается наибольшее избыточное рабочее давление при температуре среды 20°C, при котором допустима длительная работа труб и деталей трубопроводов, имеющих заданные размеры, обоснованные расчетом на прочность при выбранных материалах и характеристиках их прочности, соответствующих температуре 20°C.

Этим же ГОСТ 356-80 в зависимости от условного давления определяется пробное давление  $p_{пр}$ .

Под пробным давлением понимается избыточное давление, при котором должно проводиться гидравлическое испытание труб и деталей трубопроводов на прочность и плотность водой при температуре не менее 5 и не более 70°C.

По ГОСТ 356-80 значения условного (избыточного), пробного и рабочего давлений для арматуры и деталей трубопроводов, изготовленных из различных марок сталей и чугуна, приведены соответственно в табл. 3.1 и 3.2. Под рабочим давлением  $p_r$  в этих таблицах следует понимать наибольшее избыточное давление, при котором обеспечивается заданный режим эксплуатации арматуры и деталей трубопроводов.

Таблица 3.2. Давления (избыточные) условное, пробное и рабочее для арматуры и деталей трубопроводов из чугуна по ГОСТ 356-80

Марка чугуна	Наибольшая температура среды, °C					
	120	200	250	300	—	—
СЧ 18-35 и СЧ 21-40 по ГОСТ 1412-70; ВЧ 42-12 по ГОСТ 7293-70	120	200	250	300	—	—
КЧ 30-6 по ГОСТ 1215-59	120	200	250	300	350	400

Условное давление $p_u$ , кгс/см <sup>2</sup>	Пробное давление $p_{пр}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Рабочее давление $p_r$ , кгс/см <sup>2</sup>					
		1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,7
1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,7
1,6	2,5	1,6	1,5	1,3	1,3	1,2	1,1
2,5	4,0	2,5	2,3	2,0	2,0	1,9	1,6
4,0	6,0	4,0	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8
6,3	9,0	6,3	6,0	5,0	5,0	4,6	4,3
10,0	15,0	10,0	9,0	8,0	8,0	7,5	7,0
16,0	24,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	10,0
25,0*	38,0	25,0	23,0	21,0	20,0	18,0	16,0
40,0*	60,0	40,0	36,0	34,0	32,0	30,0	28,0

Примечания: 1. Условные давления, обозначенные знаком \*, следует применять только для арматуры и трубопроводов, изготовляемых из чугуна марок ВЧ 42-12 и КЧ 30-6.

2. Первая ступень рабочего давления распространяется на температуры среды не ниже: —30 °C для чугуна марок ВЧ 42-12 и КЧ 30-6; —15 °C для чугуна марок СЧ 18-36 и СЧ 21-40.

3. Рабочие давления для промежуточных значений температуры среды должны определяться линейной интерполяцией между ближайшими значениями, указанными в таблице.

При определении условного давления по рабочему давлению, не приведенному в табл. 3.1 и 3.2, допускается превышение рабочего давления над ближайшим его

значением, указанным в этих таблицах, не более чем на 5%. Если рабочее давление превышает указанное в таблицах давление более чем на 5%, то условное давление принимается по следующей, более высокой ступени.

За температуру среды должна приниматься температура, при которой происходит длительная эксплуатация изделия без учета кратковременных отклонений, допускаемых соответствующими стандартами или нормативно-технической документацией.

Значения рабочих давлений и температур не должны выходить за пределы, установленные действующими Правилами Госгортехнадзора СССР для соответствующих материалов и условий эксплуатации.

При применении материалов, которые по своим свойствам отличаются от приведенных в табл. 3.1 и 3.2, ступени температуры должны устанавливаться нормативно-технической документацией, разработанной с соблюдением рядов условных и рабочих давлений, указанных в табл. 3.1 и 3.2.

Для труб и деталей трубопроводов, работающих в условиях частых гидравлических ударов, пульсирующих давлений, переменной температуры, специфических свойств среды или с ресурсом работы более 100 тыс. ч, рабочие давления следует определять по табл. 3.1 и 3.2 с учетом поправочных коэффициентов, устанавливаемых разработчиком этих изделий по согласованию с головной организацией.

ГОСТ 356-80 допускает изготовление труб и деталей трубопроводов на конкретные рабочие давления и температуру, не предусмотренные этим ГОСТ.

Для труб и деталей трубопроводов, производство которых освоено до 01.01.81, допускаются условные давления  $p_u$  6, 64 и 80 кгс/см<sup>2</sup>.

Как правило, условные давления применяются для обозначения области применения труб, арматуры, деталей и элементов стационарных трубопроводов до  $p_u \leq 100$  кгс/см<sup>2</sup>. Трубы и арматура стационарных трубопроводов высокого давления, и их детали и элементы выпускаются на конкретные рабочие параметры.

### 3.3. ТРУБЫ ТРУБОПРОВОДОВ

Для трубопроводов тепловых электростанций применяются трубы круглые стальные бесшовные (холодно-, тепло- и горячедеформированные, ковано-сверленые, сварные), прямошовные и спиральношовные. В последнее время ведутся работы по применению труб, изготовленных методом центробежного литья. Для трубопроводов с агрессивными средами химводочисток возможно применение труб из полиэтилена. Полиэтиленовые трубы и полиэтиленовые стационарные трубопроводы рассмотрены в разд. II настоящего справочника.

В зависимости от параметров транспортируемой среды трубы стационарных трубопроводов должны иметь определенный объем гарантируемых показателей, в который должны входить химический состав стали, временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение, ударные вязкости при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$  и после механического старения (в зависимости от температуры среды). Кроме того, трубы должны испытываться на сплющивание или загиб, проходить металлографические исследования (макро- и микроструктуры) и контроль методом неразрушающей дефектоскопии (для трубопроводов высокого давления), для сварных труб должны быть проведены и испытания механических свойств сварного шва и его 100%-ный контроль неразрушающими методами.

Помимо этого, к трубам стационарных трубопроводов предъявляются требования по соблюдению предельно допустимых отклонений по наружному диаметру и толщине стенки, овальности, разностенности и кривизне труб, для некоторых труб — требования к способу выплавки для них стали, качеству заготовок, качеству наружной и внутренней поверхностей труб, режиму термообработки, загрязнению металла неметаллическими включениями.

Трубы для стационарных трубопроводов (их тип, ГОСТ или ТУ на технические требования, которым они соответствуют, на марку стали, объем испытаний и т. п.) в зависимости от параметров среды, транспортируемой трубопроводом, должны приниматься строго в соответствии с указаниями Правил Госгортехнадзора СССР. Любое отступление от этих Правил должно быть согласовано в установленном порядке с местными органами Госгортехнадзора.

Сортамент труб для стационарных трубопроводов должен приниматься по действующим отраслевым стандартам.

Экспондированные сварные трубы, т. е. трубы с холодной правкой конца трубы, допускается применять только после отпуска для снятия наклепа и остаточных напряжений.

Поставка труб должна производиться партиями, составляемыми из труб одинаковых номинальных наружных диаметров и толщин стенки, изготовленных из стали одной плавки с одинаковым режимом термической обработки (при ее наличии). Для сварных труб из углеродистой и марганцевистой сталей допускается наличие в партии труб, изготовленных из листов разных плавок, при условии, что необходимые испытания будут произведены на трубах каждой плавки.

На поставляемые партии труб завод-изготовитель обязан выдавать сертификат, удостоверяющий их соответствие требованиям технических условий. В сертификате должны быть указаны номинальные типоразмеры труб, номер ТУ или ГОСТ, по

которому поставляются трубы, завод — изготовитель труб, марка стали, ее химический состав, номера партии, плавки, трубы, результаты механических испытаний основного металла труб каждой плавки и результаты механических испытаний сварного шва (для сварных труб) по каждой партии, результаты проверки труб методами физического неразрушающего контроля, гарантируемое гидравлическое давление.

**Трубы стационарных трубопроводов высокого давления.** Для стационарных трубопроводов высокого давления применяются бесшовные трубы, выпускаемые по техническим условиям:

1) ТУ 14-3-460-75 «Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов. Технические условия». По этим ТУ поставляются трубы из сталей марок 20, 15ГС, 15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 12Х2МФСР, 12Х11В2МФ и 12Х18Н12Т. Горячедеформированные трубы из углеродистых и легированных сталей поставляются наружным диаметром от 57 до 465 мм, а холодно- и теплodeформированные трубы — наружным диаметром от 10 до 108 мм. Горячедеформированные трубы из высоколегированных сталей поставляются наружным диаметром от 76 до 325 мм, а холодно- и теплodeформированные трубы — наружным диаметром от 10 до 42 мм;

2) ТУ 14-3-420-75 «Трубы стальные бесшовные горячекатаные толстостенные для паровых котлов и трубопроводов. Технические условия». По этим ТУ поставляются трубы из стали марки 15Х1М1Ф наружным диаметром 377, 426 и 465 мм и трубы из стали марки 15ГС наружным диаметром 465 и 530 мм;

3) ТУ 3-923-75 «Трубы котельные бесшовные механически обработанные из конструкционной марки стали. Технические условия». По этим ТУ поставляются трубы из стали марок 15Х1М1Ф и 16ГС, причем химический состав стали 16ГС должен соответствовать ГОСТ 19232-73.

Трубы могут изготавливаться двумя методами — прошивкой-протяжкой для труб наружным диаметром 480, 580, 680 и 730 мм и свободной ковкой для труб диаметром 400 и 800 мм с толщиной стенок соответственно 45 и 200 мм.

До 1984 г. для стационарных паропроводов высокого давления применяется сортамент труб для расчетного срока их работы 100 тыс. ч. В 1979 г. был утвержден сортамент труб для этих же трубопроводов на срок их работы 200 тыс. ч. Увеличение срока работы трубопроводов повлекло за собой увеличение толщины стенки труб в силу того, что для этих условий допускаемые напряжения сталей труб были снижены. В табл. 3.3 приведен сортамент труб стационарных трубопроводов высокого давления для расчетного срока их работы 100 тыс. ч, а в табл. 3.4 — аналогичный сортамент труб для 200 тыс. ч работы.

Допускаемые напряжения марок сталей паропроводов высокого давления для

Таблица 3.3. Сортамент труб станционных трубопроводов высокого давления в зависимости от номинального давления и температуры среды для расчетного срока их работы 100 тыс. ч

Условный проход $D_y$	Размеры труб, мм		Масса 1 м трубы, кг	Марка стали. технические условия	Технические условия на поставку труб		
	Наружный диаметр и толщина стенки $D_H \times S$	Внутренний диаметр $D_B$					
$P_{НОМ} = 255 \text{ кгс/см}^2, t = 560/545 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×3,0	10	0,96	12Х1МФ, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75		
20	28×5,5	17	3,05				
40	57×11	35	12,71				
65	108×22	64	47,52				
100	159×30	99	100,80				
125	194×36	122	148,21.				
150	245×45	155	234,56	15Х1М1Ф, ТУ 14-3-460-75			
175	273×45	183	267,95				
200	325×60	205	414,34				
250	377×60	257	497,05				
300	465×75	315	764,18	15Х1М1Ф, ТУ 14-3-420-75	ТУ 14-3-420-75		
$P_{НОМ} = 140 \text{ кгс/см}^2, t = 560/545 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×2,5	11	0,83	12Х1МФ, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75		
20	28×3,5	21	2,11				
50	76×10	56	16,62				
100	133×16	101	41,12				
175	219×25	169	127,33				
200	273×32	209	202,40				
250	325×38	249	286,24	15Х1М1Ф, ТУ 14-3-460-75			
300	377×45	287	392,03				
$P_{НОМ} = 100 \text{ кгс/см}^2, t = 540 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×2,5	11	0,83	12Х1МФ, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75		
20	28×2,5	23	1,57				
65	76×7	62	12,18				
100	133×11	111	35,34				
125	159×13	133	49,98				
150	194×16	162	74,99				
175	219×18	183	95,87				
225	273×22	229	145,42				
250	325×26	273	204,74				
$P_{НОМ} = 41 \text{ кгс/см}^2, t = 345 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×2,5	11	0,83			12Х1МФ, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75
20	28×2,5	23	1,57				
50	57×3	51	4,00				
100	108×4,5	99	11,76				
150	159×7	145	28,11				
250	273×11	251	76,16				
350	377×17	343	163,45				
400	426×18	390	196,11				
450	465×19	427	226,41				
500	550×25	500	325,00	15Х1М1Ф, ТУ 3-923-74	ТУ 3-923-75		
600	630×25	580	375,00				
700	720×22	676	382,20				
$P_{НОМ} = 380 \text{ кгс/см}^2, t = 280 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×2,5	11	0,83	15ГС, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75		
20	28×3,5	21	2,11				
50	57×7	43	8,81				
100	133×16	101	49,12				
150	194×24	146	107,01				
200	273×32	209	202,40				
250	325×40	245	299,03				
300	377×45	287	392,03				
325	426×50	326	493,40				
350	465×56	353	600,67			15ГС, ТУ 14-3-420-75	ТУ 14-3-420-75
400	530×65	400	793,00				
500	630×80	470	1087,50			16ГС, ТУ 3-923-75	ТУ 3-923-75
$P_{НОМ} = 230 \text{ кгс/см}^2, t = 230 \text{ }^\circ\text{C}$							
$P_{НОМ} = 185 \text{ кгс/см}^2, t = 215 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×2	12	0,69	20, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75		
20	28×3	22	1,85				
65	76×7,5	61	12,95				



Размеры труб, мм			Масса 1 м трубы, кг	Марка стали, технические условия	Технические условия на поставку труб
Условный проход $D_y$	Наружный диаметр и толщина стенки $D_H \times S$	Внутренний диаметр $D_B$			
100	133×10	113	32,41	15ГС, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75
150	194×15	164	70,73		
175	219×16	187	85,59		
225	273×20	233	133,34		
250	325×24	277	190,36		
300	377×28	321	257,49		
$P_{НОМ} = 40 \text{ кгс/см}^2, t = 440 \text{ }^\circ\text{C}$					
$P_{НОМ} = 76 \text{ кгс/см}^2, t = 145 \text{ }^\circ\text{C}$					
10	16×2	12	0,69	20, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75
20	28×3	22	1,85		
25	32×3	26	2,15		
32	38×3	32	2,59		
50	57×3,5	50	4,72		
65	76×3,5	69	6,41		
80	89×4	81	8,58		
100	108×4,5	99	11,76		
125	133×5	123	16,92		
150	151×7	145	28,11		
200	219×9	201	49,94		
250	273×10	253	69,52		
300	325×13	299	107,19		
$P_{НОМ} = 44 \text{ кгс/см}^2, t = 340 \text{ }^\circ\text{C}$					
10	16×2,0	12	0,69	Сталь 20, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75
20	28×3,0	22	1,85		
25	32×3,0	26	2,15		
32	38×3,0	32	2,59		
50	57×3,5	50	4,72		
65	76×3,5	69	6,41		
80	89×4,0	81	8,58		
100	108×4,5	99	11,76		
125	133×5,0	123	16,92		
150	159×7,0	145	28,11		
200	219×9,0	201	49,94		
250	273×10,0	253	69,52		
300	325×13,0	299	107,19		
350	377×13,0	351	126,50		
400	426×14,0	398	154,22		
450	465×16,0 <sup>3</sup>	433	192,06		
600	630×17,0	596	257,50	16ГС, ТУ 3-923-75	ТУ 3-923-75
700	720×22,0	676	382,20		

Примечание: Сортамент труб приведен на основании следующих отраслевых стандартов:  
 для параметров  $P_{НОМ} = 255 \text{ кгс/см}^2, t = 560/545 \text{ }^\circ\text{C}$  по НО 769-66;  
 для параметров  $P_{НОМ} = 140 \text{ кгс/см}^2, t = 560 \text{ }^\circ\text{C}$  по ОСТ 24.320.05; для  $t = 545 \text{ }^\circ\text{C}$  по ОСТ 24.320.06;  
 для параметров  $P_{НОМ} = 100 \text{ кгс/см}^2, t = 540 \text{ }^\circ\text{C}$  по изменению № 1 1982 г. к ОСТ 108.320.103.78  
 для параметров  $P_{НОМ} = 41 \text{ кгс/см}^2, t = 545 \text{ }^\circ\text{C}$  по ОСТ 24.320.08;  
 для параметрой  $P_{НОМ} = 380 \text{ кгс/см}^2, t = 280 \text{ }^\circ\text{C}$  по НО 1073-66;  
 для параметров  $P_{НОМ} = 230$  и  $185 \text{ кгс/см}^2, t = 230$  и  $215 \text{ }^\circ\text{C}$  по ОСТ 24.320.09;  
 для параметров  $P_{НОМ} = 40$  и  $76 \text{ кгс/см}^2, t = 440$  и  $145 \text{ }^\circ\text{C}$  по ОСТ 24.320.10;  
 для параметров  $P_{НОМ} = 44 \text{ кгс/см}^2, t = 340 \text{ }^\circ\text{C}$  по ОСТ 24.320.11.

Таблица 3.4. Сортамент труб стационарных трубопроводов высокого давления в зависимости от номинального давления и температуры среды для расчетного срока их работы 200 тыс. ч

Размер труб, мм			Масса 1 м трубы, кг	Марка стали, технические условия	Технические условия на поставку труб
Условный проход $D_y$	Наружный диаметр и толщина стенки $D_H \times S$	Внутренний диаметр $D_B$			
$P_{НОМ} = 255 \text{ кгс/см}^2, t = 545 \text{ }^\circ\text{C}$					
10	16×3,5	9	1,08	12Х1МФ, ТУ 14-3-460-76	ТУ 14-3-460-75
15	28×6,0	16	3,25		
32	57×13,0	31	14,34	15Х1М1Ф, ТУ 14-3-460-75	
65	108×22,0	64	47,52		
100	159×32,0	95	105,70		
125	194×38,0	118	154,28		
150	245×48,0	149	246,00		
175	273×52,0	169	301,20		
200	325×60,0	205	414,30		
225	377×70,0	237	535,00	15Х1М1Ф, ТУ 14-3-420-75	ТУ 14-3-420-75
250	426×80,0	266	720,70		
300	465×80,0	305	803,40		



Размер труб, мм			Масса 1 м трубы, кг	Марка стали, технические усло- вия	Технические усло- вия на поставку труб		
Условный проход $D_y$	Наружный диаметр и толщина стенки $D_H \times S$	Внутренний диаметр $D_B$					
$\rho_{НОМ} = 140 \text{ кгс/см}^2, t = 560/545 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×2,5	11	0,83	12Х1МФ, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75		
20	28×4,5	19	2,61				
50	76×13,0	50	20,59				
100	133×29,0	93	59,12				
150	219×32,0*1	155	156,60				
175	219×28,0*1	163	140,21				
200	273×36,0*1	231	223,60	15Х1М1Ф, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75		
250	273×32,0*1	200	202,40				
300	325×38,0*1	249	286,24				
	377×50,0*1	277	428,40				
$\rho_{НОМ} = 100 \text{ кгс/см}^2, t = 540 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×2,5	11	0,83	12Х1МФ, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75		
20	28×3,0	22	1,85				
65	76×9,0	58	15,19				
100	133×13,0	107	41,02	15Х1М1Ф, ТУ 14-3-460-75			
125	15×15,0	121	56,81				
150	194×18,0	158	83,34				
175	219×20,0	171	104,71				
225	273×24,0	225	157,28				
250	325×28,0	269	218,89				
$\rho_{НОМ} = 41 \text{ кгс/см}^2, t = 545 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×2,5	11	0,83	12Х1МФ, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-73		
20	28×3,0	22	1,85				
50	57×3,5	50	4,72				
100	108×6,0	96	15,45				
150	159×8,0	143	31,91				
250	273×13,0	247	89,27				
350	377×17,0	343	168,45				
400	426×19,0	388	206,53				
450	465×22,0	421	257,40				
500	530×25,0	480	343,71	15Х1М1Ф, ТУ 14-3-420-75	ТУ 14-3-420-75		
600	630×28,0	574	425,01	15Х1М1Ф, ТУ 3-923-75	ТУ 3-923-75		
700	720×25,0*2	670	438,03				
$\rho_{НОМ} = 380 \text{ кгс/см}^2, t = 280 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×2,5	11	0,83	15ГС, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75		
20	28×4,0	20	2,37				
40	57×9,0	33	10,87				
100	133×18,0	97	54,23				
150	194×26,0	142	114,45				
200	273×36,0	201	223,60				
250	325×42,0	241	311,58				
300	377×50,0	277	428,46				
350	465×60,0	345	636,80			15ГС, ТУ 14-3-420-75	ТУ 14-3-420-75
400	530×65,0*2	400	794,00				
$\rho_{НОМ} = 240 \text{ кгс/см}^2, t = 250 \text{ }^\circ\text{C}$							
$\rho_{НОМ} = 185 \text{ кгс/см}^2, t = 215 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×2,0	12	0,63	Сталь 20, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75		
20	28×3,0	22	1,85				
65	76×9,0	58	15,19	15ГС, ТУ 14-3-460-75			
100	133×13,0	107	41,02				
150	191×17,0	163	79,19				
	114×15,0*3	164	70,73				
175	219×11,0*3	181	100,02				
	219×16,0*3	187	85,51				
225	273×24,0*3	225	157,28				
	273×19,0*3	235	127,32				
250	325×28,0*3	269	218,89				
	325×22,0*3	281	175,75				
300	377×32,0*3	313	290,63				
	377×26,0*3	325	240,58				
350	426×36,0*3	354	369,62				
$\rho_{НОМ} = 40 \text{ кгс/см}^2, t = 440 \text{ }^\circ\text{C}$							
$\rho_{НОМ} = 76 \text{ кгс/см}^2, t = 145 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×2,0	12	0,69	Сталь 20, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75		
20	28×3,0	22	1,85				
25	32×3,0	26	2,15				
32	38×3,0	32	2,51				

Размер труб, мм			Масса 1 м трубы, кг	Марка стали, технические условия	Технические условия на поставку труб		
Эквивалентный проход $D_y$	Наружный диаметр и толщина стенки $D_H \times S$	Внутренний диаметр $D_B$					
50	57×3,5	50	4,72	Сталь 20, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75		
80	89×6,0	77	12,56				
100	108×8,0**	92	20,18				
	108×6,0**	96	15,45				
150	159×9,0	141	35,63				
200	219×13,0	193	70,66				
250	273×16,0	241	108,50				
300	325×19,0	287	138,28				
$P_{НОМ} = 44 \text{ кгс/см}^2, t = 340 \text{ }^\circ\text{C}$							
10	16×2,0	12	0,69			Сталь 20, ТУ 14-3-460-75	ТУ 14-3-460-75
20	28×3,0	22	1,85				
25	32×3,0	26	2,15				
32	38×3,0	32	2,59				
50	57×3,5	50	4,72				
65	76×3,5	69	6,41				
80	89×4,0	81	8,58				
100	108×6,0	96	15,45				
150	159×7,0	145	28,11				
200	219×9,0	201	49,94				
250	273×10,0	253	69,52				
300	325×13,0	299	107,19				
350	377×13,0	351	126,50				
400	426×15,0	396	164,80				
450	465×16,0	433	192,06				
600	630×17,0**	596	257,50	16ГС, ГОСТ 19282-73	ТУ 3-923-75		
700	630×25,0	580	375,03				
	720×22,0**	676	382,14				

\*\* Трубы 219×32, 273×36 и 377×50 мм для  $P_{НОМ} = 140 \text{ кгс/см}^2, t = 560 \text{ }^\circ\text{C}$ ; трубы 219×28, 273×32 и 325×38 мм для  $P_{НОМ} = 140 \text{ кгс/см}^2, t = 545 \text{ }^\circ\text{C}$ .

\*\* Только для прямых участков трубопроводов.

\*\* Трубы 194×15, 219×16, 273×19, 325×22 и 377×28 мм для  $P_{НОМ} = 185 \text{ кгс/см}^2, t = 215 \text{ }^\circ\text{C}$ , трубы 194×17, 219×19, 273×24, 325×28, 377×32 и 426×36 мм для параметров  $P_{НОМ} = 240 \text{ кгс/см}^2, t = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ .

\*\* Трубы 108×8 мм для параметров  $P_{НОМ} = 40 \text{ кгс/см}^2, t = 440 \text{ }^\circ\text{C}$ ; труба 108×6 мм для параметров  $P_{НОМ} = 76 \text{ кгс/см}^2, t = 145 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Примечания: 1. Сортамент труб приведен на основании ОСТ 108.320.102-78 и ОСТ 108.320.103-78 с изменением № 1 1982 г.

2. Сортамент труб предназначен для изготовления прямых участков трубопроводов, гнутых отводов и фасонных деталей.

3. Предельные отклонения по наружному диаметру и толщине стенки труб должны соответствовать техническим условиям на трубы.

4.  $P_{НОМ}$  — номинальное давление среды,  $t$  — температура стенки трубы.

5. Сортамент труб для блока К-800 может корректироваться.

Таблица 3.5. Номинальные допускаемые напряжения  $[\sigma]$ , кгс/мм<sup>2</sup>, сталей паропроводов высокого давления для расчетного срока их работы в 200 тыс. ч

Температура стенки трубы, °C	Марка стали							
	10, 12К	20, 20К	16ГС, 09Г2С, 10Г2С1, 15ГС	12ХМ, 12МХ	15ХМ	12Х1МФ	15Х1МФ	12Х18Н12Т, 12Х18Н10Т, 08Х16Н1М2
400	6,0	7,7	9,5	—	—	—	—	—
410	6,1	7,0	8,3	—	—	—	—	—
420	5,7	6,3	7,2	—	—	—	—	—
430	5,1	5,7	6,2	—	—	—	—	—
440	4,5	5,0	5,4	—	—	—	—	—
450	3,8*	4,3	4,7	12,5	12,7	13,8	15,2	—
460	3,3*	3,6*	4,1*	12,3	12,5	13,6	15,0	—
470	2,8*	3,0*	3,5*	11,5	12,1	13,0	13,9	—
480	—	—	—	10,2	11,3	12,0	13,0	—
490	—	—	—	9,0	10,1	10,6	11,4	—
500	—	—	—	7,7	8,5	9,6	10,8	—
510	—	—	—	6,0	7,2	8,6	9,6	—
520	—	—	—	4,9	5,8	7,7	8,6	—
530	—	—	—	4,0	4,4	6,9	7,7	—
540	—	—	—	—	3,5	6,2	6,9	—
550	—	—	—	—	2,6*	5,6	6,3	9,2
560	—	—	—	—	—	5,0	5,7	9,1

Продолжение табл. 3.5

Температура стенки трубы, °C	Марка стали							
	10, 12К	20, 20К	16ГС, 09Г2С, 10Г2С1, 15ГС	12ХМ, 12МХ	15ХМ	12Х1МФ	15Х1МФ	12Х18Н12Т, 12Х18Н10Т, 08Х16Н1М2
570	—	—	—	—	—	4,4	5,1	8,7
580	—	—	—	—	—	3,9*	4,6*	8,1
590	—	—	—	—	—	3,5*	4,2*	7,3
600	—	—	—	—	—	3,1*	3,8*	6,6
610	—	—	—	—	—	—	—	5,9
620	—	—	—	—	—	—	—	5,3*
630	—	—	—	—	—	—	—	4,9*
640	—	—	—	—	—	—	—	4,5*
650	—	—	—	—	—	—	—	4,1*

\* Значения применять только для поверочных расчетов.

Примечания: 1. Для температур ниже приведенных в таблице напряжения принимать по табл. 3.9.

2. Для промежуточных значений температур допускаемое напряжение определяется линейной интерполяцией ближайших значений с округлением до 0,05 кгс/см<sup>2</sup> в меньшую сторону.

3. Таблица приведена согласно изменению № 3 к ОСТ 108.031.02-75.

Таблица 3.6. Номинальные допускаемые напряжения  $[\sigma]$ , кгс/мм<sup>2</sup>, для легированных и высоколегированных сталей

Температура стенки трубы, °С	Марка стали							
	12ХМ, 12МХ	15ХМ, 12Х2МФБ	12Х1МФ	12Х2МФСР	15Х1М1Ф	12Х11В2МФ	12Х18Н12Т, 12Х18Н10Т, 14Х14В2М, 16Н4М2	09Х14Н19В2БР, 16Н14В2БР, 16Н16В2МБР
20	14,7	15,3	17,3	16,7	19,2	20,0	14,7	14,7
250	14,5	15,2	16,6	16,0	18,6	—	12,5	—
300	14,1	14,7	15,9	15,3	18,0	—	12,0	—
350	13,7	14,0	15,2	14,7	17,2	—	11,6	—
400	13,2	13,3	14,5	14,0	16,2	—	11,1	—
420	12,9	13,1	14,2	13,7	15,8	—	11,0	—
440	12,6	12,8	13,9	13,4	15,4	—	10,8	—
450	12,5	12,7	13,8	13,3	15,2	—	10,7	—
460	12,3	12,5	13,6	13,1	15,0	—	10,6	—
480	12,0	12,2	13,3	12,8	14,5	—	10,5	—
500	9,5	10,5	11,3	10,6	12,0	—	10,4	—
510	7,8	8,5	10,1	9,4	10,7	—	10,3	—
520	6,6	7,0	9,0	8,5	9,6	—	10,3	—
530	5,4	5,6	8,1	7,8	8,6	—	10,2	—
540	—	4,5	7,3	7,0	7,8	—	10,2	—
550	—	3,5	6,6	6,3	7,1	10,7	10,2	11,5
560	—	2,7	5,9	5,7	6,4	9,7	10,1	11,4
570	—	(2,1)	5,3	5,2	5,7	8,7	9,7	11,2
580	—	—	4,7	4,6	5,2	7,8	9,0	10,9
590	—	—	(4,1)	(4,1)	(4,7)	6,9	8,1	10,6
600	—	—	(3,7)	(3,7)	(4,3)	6,0	7,4	10,3

Примечания: 1. Для промежуточных значений температуры допускаемое напряжение определяется линейной интерполяцией ближайших значений с округлением до 0,05 кгс/мм<sup>2</sup> в меньшую сторону.

2. Значения, заключенные в скобки, рекомендуются только для ресурса  $\leq 50$  тыс. ч.

3. Таблица составлена из расчета рабочего срока работы трубопроводов высокого давления в 100 тыс. ч.

4. Таблица приведена согласно ОСТ 108.031.02-75.

расчетного срока их работы в 200 тыс. ч даны в табл. 3.5. Номинальные допускаемые напряжения для легированных и высоколегированных сталей, в том числе и для сталей паропроводов со сроком их работы в 100 тыс. ч, приведены в табл. 3.6. Для сталей марок 20, 15ГС и 16ГС при температурах 340°С и менее допускаемые номинальные напряжения должны приниматься по табл. 3.9.

Следует отметить, что приведенные в табл. 3.5 и 3.6 допускаемые напряжения используются для определения толщин стенок труб, основных размеров деталей и элементов трубопроводов при действии только внутреннего давления. При действии на трубопровод совместно с внутренним давлением других нагрузок (изгибающих и крутящих моментов и др.) допускаемое эквивалентное напряжение принимается по [4, с. 64] и должно удовлетворять следующему условию: при действии внутреннего давления и весовых нагрузок  $\sigma^B \leq 1,1 [\sigma]$ ; при действии внутреннего давления, весовых нагрузок и само-

компенсации тепловых расширений  $\sigma^{в-ск} \leq \leq 1,5 [\sigma]$ , где  $[\sigma]$  принимается по табл. 3.5, 3.6, а также 3.9.

Предельные отклонения по толщине стенки и наружному диаметру труб трубопроводов высокого давления согласно ТУ на них приведены в табл. 3.7. Площадь поперечного сечения, моменты инерции и сопротивления труб, а также массы воды в 1 м труб — см. табл. 3.10.

Для крепежных деталей трубопроводов в силу иных условий их нагружения допускаемые напряжения следует принимать по табл. 4.7.

Трубы стационарных трубопроводов низкого давления ( $p_y \leq 40$  кгс/см<sup>2</sup>). В зависимости от условного давления для трубопроводов низкого давления применяются бесшовные или сварные трубы прямошовные или спиральношовные, с односторонним или двусторонним швом.

Спиральношовные трубы могут применяться только для прямых участков трубопроводов.

Для трубопроводов с  $p_y \leq 40$  кгс/см<sup>2</sup> и температурой среды не более 425°С применяются бесшовные трубы из углеродистой качественной стали марок 10 и 20 по ГОСТ 1050-74\*\*. Для прямых участков трубопроводов с  $p_y \leq 40$  кгс/см<sup>2</sup> и  $D_y \leq 400$  мм, а также для гнутых отводов с  $p_y \leq \leq 40$  кгс/см<sup>2</sup> и  $D_y \leq 100$  мм и с  $p_y \leq \leq 25$  кгс/см<sup>2</sup> и  $D_y \leq 350$  мм допускается применение труб из стали марки 10 по ГОСТ 1050-74\*\*. Для трубопроводов с  $p_y \leq 16$  кгс/см<sup>2</sup> бесшовные трубы должны применяться при отсутствии сварных труб.

Для трубопроводов с температурой среды не более 300°С могут применяться трубы из углеродистой стали обыкновенного качества по ГОСТ 380-71\* с учетом расчетной температуры наружного воздуха. За расчетную температуру наружного воздуха принимается средняя температура наиболее холодной пятидневки, при этом применяются:

для трубопроводов с  $p_y \leq 40$  кгс/см<sup>2</sup> и  $t \leq 300$ °С трубы бесшовные из стали марки ВСтЗсп5;

для трубопроводов с  $p_y \leq 25$  кгс/см<sup>2</sup> и  $t \leq 300$ °С трубы электросварные с двусторонним швом из стали марки ВСтЗсп5;

для трубопроводов с  $p_y \leq 16$  кгс/см<sup>2</sup> и  $t \leq 300$ °С трубы электросварные из стали марок ВСтЗсп5, ВСтЗГпс5 и ВСтЗпс5.

Использование труб из спокойной стали 5-й категории допускается при расчетной температуре наружного воздуха не ниже минус 40°С, а из полуспокойной стали 5-й категории — не ниже минус 30°С.

Материал для трубопроводов с параметрами среды  $p_y \leq 10$  кгс/см<sup>2</sup> и  $t \leq 150$ °С, на которые не распространяются требования Правил Госгортехнадзора СССР, следует принимать по табл. 3.8.

Отраслевой стандарт на сортамент труб трубопроводов низкого давления находится на стадии разработки, поэтому в справочнике он не приводится. Следует

Таблица 3.7. Предельные отклонения по толщине стенки и наружному диаметру труб трубопроводов высокого давления

Характеристика труб	Предельное отклонение	ТУ на трубы	
<i>По толщине стенки</i>			
Для холодно- и теплодеформированных труб Для горячедеформированных труб; из углеродистых и легированных сталей; диаметром до 108 мм	±10%	ТУ 14-3-460-75	
	+15% -10%		
диаметром более 108 мм	+20% -5,0%	ТУ 14-3-460-75 и ТУ 14-3-420-75	
	+15% -10%		
из высоколегированных сталей; диаметром до 140 мм	+20% -5,0%	ТУ 3-923-75	
диаметром более 140 мм	+12% -4,0%		
Для труб диаметром 480—730 мм, изготавливаемых методом прошивки-протяжки	+ (1,5—7,5) % - (0,5—2,0) %		
<i>По наружному диаметру</i>			
Для холодно- и теплодеформированных труб: диаметром до 30 мм	±0,3 мм	ТУ 14-3-460-75	
	диаметром от 30 до 50 мм		±0,4 мм
	диаметром более 50 мм		±0,8%
Для горячедеформированных труб: диаметром до 273 мм	±1,0%	ТУ 14-3-460-75 и ТУ 14-3-420-75	
	+1,25% -1,0%		
диаметром более 273 мм	+3,5 мм -1,3 мм	ТУ 3-923-75	
Для труб диаметром 480—730 мм, изготавливаемых методом прошивки-протяжки	+3,5 мм -1,3 мм		
Для труб диаметром 400—800 мм, изготавливаемых методом свободнойковки			

Примечание. Для холоднодеформированных труб из стали марки 12Х18Н12Г с толщиной стенки более 5 мм огласно ТУ 14-3-43-75 приняты следующие предельные отклонения: по толщине стенки ±8%, по наружному диаметру ±0,3 мм.

Таблица 3.8. Материалы для трубопроводов с параметрами среды  $p_y \leq 10$  кгс/см<sup>2</sup> и  $t \leq 150$  °С, на которые не распространяются требования Правил Госгортехнадзора СССР

Параметры среды и назначение трубопровода	Расчетная температура наружного воздуха (средняя температура наиболее холодной пятидневки)		
	не ниже -20 °С	не ниже -30 °С	не ниже -40 °С
$p_y \leq 10$ кгс/см <sup>2</sup> , $t = 70 \div 150$ °С Продувочные и выхлопные трубопроводы, циркуляционные водоводы внутри главного корпуса, промышленные трубопроводы и т. п.	ВСт3сп3, ВСт3Гпс4, ВСт3пс4	ВСт3сп4, ВСт3Гпс5, ВСт3пс5	ВСт3сп5
$p_y \leq 10$ кгс/см <sup>2</sup> , $t \leq 70$ °С Трубопроводы технической воды, воды химводочистки, трубопроводы слива и опорожнения, очистных сооружений, гидрошлакозолоудаления, барботеров, промывки регенеративных воздухоподогревателей и т. п.	ВСт3сп2, ВСт3Гпс3, ВСт3пс3	ВСт3сп3, ВСт3Гпс4, ВСт3пс4	ВСт3сп4

Примечание. Из указанных марок сталей рекомендуется применять сталь первой марки; сталь других марок используется в качестве замены.

Таблица 3.9. Номинальные допускаемые напряжения  $[\sigma]$ , кгс/мм<sup>2</sup>, для углеродистых и марганцовистых сталей, по ОСТ 108.031.02-75

Температура стенки трубы, °С	Марка стали											
	ВСт2кп	ВСт3кп	ВСт2сп, ВСт2пс	ВСт3сп, ВСт3пс	10, 12К	15, 15К, 16К	20, 20К, 18К	22К	16ГС, 09Г2С	10Г2С1	16ГНМ, 16ГНМА	15ГС
20	12,40	13,30	13,00	14,00	13,00	14,00	14,70	17,00	17,00	17,70	19,00	18,50
100	11,10	12,35	11,65	12,95	12,55	13,55	14,40	15,95	16,10	17,15	18,35	17,80
110	10,95	12,20	11,50	12,85	12,50	13,50	14,35	15,85	16,00	17,10	18,30	17,70
120	10,80	12,10	11,30	12,70	12,45	13,45	14,30	15,70	15,90	17,00	18,20	17,60
130	10,60	11,95	11,15	12,60	12,40	13,40	14,27	15,60	15,75	16,95	18,15	17,50
140	10,45	11,85	11,00	12,45	12,35	13,35	14,23	15,45	15,65	16,90	18,05	17,45
150	10,30	11,75	10,80	12,35	12,30	13,30	14,20	15,30	15,55	16,85	17,95	17,35
160	10,15	11,60	10,65	12,20	12,25	13,25	14,15	15,20	15,45	16,75	17,90	17,25
170	9,95	11,50	10,45	12,05	12,20	13,20	14,11	15,05	15,35	16,70	17,80	17,15
180	9,80	11,35	10,30	11,95	12,15	13,15	14,07	14,95	15,20	16,60	17,70	17,10
190	9,65	11,25	10,15	11,80	12,10	13,10	14,03	14,80	15,10	16,55	17,65	17,00
200	9,50	11,10	10,00	11,70	12,00	13,00	14,00	14,70	15,00	16,50	17,60	16,90
210	9,20	10,90	9,70	11,50	11,70	12,80	13,85	14,55	14,90	16,30	17,50	16,80
220	8,90	10,75	9,45	11,30	11,45	12,60	13,65	14,40	14,80	16,15	17,45	16,75
230	8,60	10,55	9,15	11,10	11,15	12,40	13,50	14,25	14,70	15,95	17,35	16,65
240	8,30	10,35	8,85	10,90	10,85	12,20	13,35	14,15	14,60	15,75	17,25	16,55
250	8,00	10,20	8,60	10,70	10,60	12,00	13,20	14,00	14,50	15,60	17,20	16,50
260	—	—	8,25	10,45	10,35	11,70	12,95	13,80	14,25	15,35	17,10	16,25
270	—	—	7,95	10,25	10,05	11,45	12,70	13,60	14,00	15,10	17,00	16,00
280	—	—	7,65	10,00	9,80	11,15	12,40	13,40	13,75	14,85	16,90	15,75
290	—	—	7,30	9,80	9,55	10,85	12,15	13,20	13,55	14,65	16,80	15,55
300	—	—	7,00	9,60	9,30	10,60	11,90	13,00	13,30	14,40	16,70	15,30
320	—	—	—	—	8,80	10,10	11,40	12,60	12,70	13,90	16,50	14,50
340	—	—	—	—	8,30	9,60	10,90	12,20	12,20	13,30	16,20	13,70
350	—	—	—	—	8,00	9,30	10,60	12,00	12,00	13,10	16,00	13,30
360	—	—	—	—	7,70	9,00	10,30	—	11,70	12,70	—	12,90
380	—	—	—	—	7,20	8,50	9,70	—	11,20	12,10	—	12,10
400	—	—	—	—	6,70	8,00	9,20	—	10,70	11,30	—	11,30
410	—	—	—	—	6,50	7,70	8,60	—	9,70	10,20	—	10,70
420	—	—	—	—	6,20	7,40	7,90	—	8,70	9,00	—	10,20
430	—	—	—	—	5,90	7,20	7,20	—	7,60	7,80	—	8,90
440	—	—	—	—	5,70	6,60	6,60	—	6,80	7,00	—	7,50
450	—	—	—	—	5,40	5,90	5,90	—	6,20	6,30	—	6,50
460	—	—	—	—	5,20	5,20	5,20	—	—	—	—	—

Примечания: 1. Для промежуточных значений температуры допускаемое напряжение определяется линейной интерполяцией ближайших значений с округлением до 0,05 кгс/мм<sup>2</sup> в меньшую сторону.  
2. Указанные в таблице допускаемые напряжения даны с учетом нагрузки только от внутреннего давления.

еще раз подчеркнуть, что трубы следует применять по утвержденным ограничительным отраслевым стандартам (ОСТ), действующим на момент применения труб.

Номинальные допускаемые напряжения для углеродистых и марганцовистых сталей приведены в табл. 3.9. Для крепежных деталей трубопроводов в силу других условий их нагружения допускаемые напряжения, как указывалось раньше, следует принимать по табл. 4.7.

Значения допускаемых напряжений для стали марки 17ГС впредь до уточнения следует принимать по допускаемому напряжению стали марки 16ГС по табл. 3.9.

Площадь поперечного сечения, моменты инерции и сопротивления труб, а также масса воды в 1 м труб трубопроводов низкого давления приведены в табл. 3.10, сортамент труб в которой указан по ОСТ 34.201-73, находящемуся в переработке.

### 3.4. ДЕТАЛИ ТРУБОПРОВОДОВ

#### 3.4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основные детали и элементы стационарных трубопроводов тепловых электростанций унифицированы и стандартизованы.

В настоящее время для стационарных трубопроводов высокого и низкого давления разработаны отраслевые стандарты на следующие детали и элементы: отводы гнутые и крутоизогнутые, тройники, переходы, штуцера, подкладные кольца, заглушки (доньшки).

Кроме того, для трубопроводов высокого давления разработаны отраслевые стандарты на колена штампованные, прокладки зубчатые, дроссельные шайбы и трубки, реперы, бобышки, пробки, штуцера с паровой рубашкой, приборы контроля перемещений трубопроводов; для трубопроводов низкого давления — на отводы сварные, накладки, развилки гнутые, развилки сварные.

Изготовление этих деталей и элементов производится в соответствии со следующими нормативными документами:

1) ТУ 34-42-ЭД1-1202-76 «Детали и блоки трубопроводов  $p_{\text{у}} \leq 40$  кгс/см<sup>2</sup> для тепловых электростанций. Технические условия»;

2) ОСТ 108.030.129-79 «Фасонные детали и сборочные единицы стационарных и турбинных трубопроводов тепловых электростанций. Общие технические условия».

Таблица 3.10. Площади поперечного сечения моменты инерции и сопротивления труб, масса воды в 1 м трубы

Продолжение табл. 3.10

Наружный диаметр и толщина стенки трубы, мм	Характеристика поперечного сечения трубы			Масса воды в 1 м трубы, кг
	Площадь стенки трубы F, см <sup>2</sup>	Момент инерции I, см <sup>4</sup>	Момент сопротивления W, см <sup>3</sup>	

Трубы трубопроводов высокого давления

16×2	0,88	0,22	0,27	0,11
16×2,5	1,06	0,25	0,31	0,09
16×3	1,22	0,27	0,34	0,08
16×3,5	1,37	0,21	0,36	0,06
28×2,5	2,00	1,64	1,17	0,41
28×3	2,35	1,86	1,33	0,37
28×3,5	2,69	2,06	1,47	0,34
28×4	3,01	2,23	1,59	0,31
28×4,5	3,33	2,38	1,70	0,27
28×5,5	3,89	2,60	1,86	0,22
28×6	4,15	2,69	1,92	0,19
32×3	2,73	2,90	1,81	0,52
32×3,5	3,30	5,08	2,67	0,80
32×4	5,07	18,60	6,53	2,03
32×4,5	5,88	21,12	7,41	1,95
32×5	10,99	35,01	12,28	1,43
32×5,5	13,56	40,44	14,19	1,16
32×6	15,81	44,42	15,58	0,93
32×6,5	17,96	47,26	16,58	0,72
32×7	7,97	52,47	13,81	3,72
32×7,5	15,17	91,18	23,99	2,98
32×8	16,13	95,75	25,20	2,88
32×9	18,93	108,15	28,46	2,60
32×10	20,72	115,43	30,37	2,42
32×13	25,72	133,01	35,00	1,91
32×15	10,68	96,63	21,71	5,18
32×16	15,64	135,35	30,41	4,62
32×17	14,62	193,19	36,33	7,66
32×18	19,22	250,77	46,44	7,19
32×20	25,12	316,00	58,52	6,58
32×22	55,26	562,56	104,18	3,52
32×25	59,41	585,15	108,36	3,10
32×28	20,10	412,17	61,98	11,73
32×30	42,14	790,33	118,85	9,47
32×32	49,00	892,01	134,14	8,65
32×35	58,78	1024,57	154,07	7,63
32×38	90,40	1168,10	175,65	6,36
32×40	33,41	966,87	121,62	16,26
32×42	37,93	1084,06	136,36	15,78
32×45	42,39	1196,45	150,50	15,31
32×48	59,60	1600,47	201,32	13,48
32×50	67,82	1776,98	223,52	12,61
32×52	121,52	2664,30	335,13	7,01
32×55	127,61	2735,97	344,15	6,39
32×58	89,43	3570,20	368,06	20,00
32×60	94,48	3734,00	384,95	19,46
32×62	99,63	3891,77	401,21	18,93
32×65	118,82	4465,76	460,39	16,89
32×68	137,15	4954,48	510,77	14,97
32×70	178,60	5862,35	604,36	10,67
32×72	186,14	5998,03	618,35	9,90
32×75	53,34	3277,20	239,30	31,29
32×78	84,10	4478,05	408,95	28,65
32×80	113,60	5782,92	528,12	25,52
32×82	119,32	6019,54	549,73	24,91
32×85	124,97	6248,44	570,63	24,31
32×88	152,29	7283,07	665,12	21,43
32×90	168,00	7821,86	714,32	19,79
32×92	187,90	8453,32	771,99	17,71
32×95	267,72	14380,00	1173,88	18,78
32×98	282,60	14844,57	1211,80	17,25
32×100	295,92	15258,23	1245,57	15,78
32×102	82,60	7150,10	523,82	49,65
32×105	90,49	7778,20	569,83	48,81
32×108	106,13	8990,12	658,62	47,12
32×110	129,12	10700,82	783,94	44,69
32×112	151,53	12288,41	900,25	42,30
32×115	173,39	13758,94	1007,98	38,99
32×118	187,64	14677,19	1075,25	38,48
32×120	194,68	15118,32	1107,57	37,73
32×122	242,16	17810,00	1310,62	32,73
32×125	255,16	18586,24	1361,63	31,37
32×128	267,91	19242,96	1409,74	30,03

Наружный диаметр и толщина стенки трубы, мм	Характеристика поперечного сечения трубы			Масса воды в 1 м трубы, кг
	Площадь стенки трубы F, см <sup>2</sup>	Момент инерции I, см <sup>4</sup>	Момент сопротивления W, см <sup>3</sup>	

273×45	322,16	21748,53	1543,30	24,38
273×52	360,85	23211,94	1703,27	20,40
325×13	127,36	15523,10	955,27	69,27
325×19	182,56	21448,97	1319,94	63,38
325×22	209,31	24146,35	1485,93	60,54
325×25	244,10	27483,75	1691,31	56,84
325×28	261,12	29046,10	1787,45	55,04
325×30	277,89	30541,85	1879,50	53,27
325×38	342,45	35875,20	2207,70	46,47
325×40	357,93	37058,15	2280,50	44,84
325×42	373,22	38184,56	2349,82	43,24
325×50	473,01	44636,23	2746,85	32,86
325×60	499,26	46070,00	2835,08	30,15
377×13	148,58	24638,75	1307,10	95,64
377×17	192,17	31199,04	1655,12	90,98
377×26	286,56	44369,92	2353,84	80,94
377×28	306,84	47015,20	2491,18	78,78
377×32	346,66	52016,98	2751,52	74,56
377×45	461,12	65818,90	3491,72	61,65
377×50	513,40	70221,11	3725,26	57,01
377×60	597,23	77702,12	4122,13	48,28
377×70	674,78	83626,18	4436,40	40,27
426×14	181,11	38471,43	1806,17	123,04
426×15	193,58	40927,23	1921,47	121,70
426×19	242,82	50384,83	2365,48	116,45
426×36	440,86	84527,63	3968,43	5,39
426×80	869,15	137010,48	6432,42	50,64
465×16	225,58	59915,12	2447,96	145,55
465×19	266,08	66277,05	2850,63	141,22
465×22	306,02	75252,53	3236,67	136,76
465×56	719,18	153194,01	6589,00	93,22
465×60	763,02	15858,38	6876,06	88,62
465×75	918,45	181068,93	7787,91	72,43
465×80	967,12	186916,63	8039,42	67,39
530×25	396,42	126676,10	4780,23	178,05
530×65	949,06	261513,40	9868,43	119,55
630×17	327,22	153809,03	4882,83	276,46
630×25	474,92	217652,97	6909,62	260,67
630×28	529,28	240272,23	7627,69	254,86
630×80	1381,60	533443,11	16934,70	164,65
720×22	482,18	293925,81	8164,61	355,23
720×25	545,57	329817,37	9161,59	348,45

Трубы трубопроводов низкого давления

14×2	0,75	0,14	0,20	0,08
18×2	1,00	0,33	0,36	0,15
25×2	1,44	0,96	0,55	0,35
32×2	1,88	2,13	1,33	0,61
38×2	2,26	3,67	1,93	0,90
45×2,5	3,34	7,56	3,36	1,25
57×3	5,09	18,60	6,53	2,05
76×3	6,88	45,90	12,08	3,85
89×3	8,10	73,45	16,85	5,41
89×3,5	9,40	86,00	19,32	5,29
108×3,5	11,48	156,93	29,06	8,00
108×4	13,06	176,85	32,75	7,86
133×3,5	14,23	298,54	44,89	12,47
133×4	16,20	337,34	50,73	12,28
159×4,5	21,83	651,90	82,00	17,61
219×5	46,60	2182,63	208,86	33,68
273×6	50,30	4484,58	328,54	53,97
273×7	58,47	5174,41	379,08	52,73
325×6	60,10	7647,06	470,59	77,49
325×8	73,63	10018,34	615,90	75,05
377×9	104,47	17614,21	934,44	101,30
426×7	92,10	20225,24	949,07	169,88
426×9	117,84	25625,37	1203,07	130,82
478×7	103,52	28712,71	1201,37	169,88
478×8	118,06	32508,20	1364,56	168,55
530×8	131,12	44670,52	1685,68	208,69
630×8	156,25	75570,21	2399,05	297,48
630×9	175,49	84610,84	2686,06	295,75
720×8	178,85	113345,00	3148,47	390,83
720×10	222,94	140500,78	3902,80	386,85
820×9	229,19	188441,28	4596,13	506,93
820×11	279,43	228631,52	5576,38	502,40

Наружный диаметр и толщина стенки трубы, мм	Характеристика поперечного сечения трубы			Масса воды в 1 м трубы, кг
	Площадь стенки трубы $F$ , см <sup>2</sup>	Момент инерции $I$ , см <sup>4</sup>	Момент сопротивления $W$ , см <sup>3</sup>	
920×9	257,45	267150,00	5806,30	640,95
920×12	342,13	352640,43	7666,09	633,25
1020×10	317,14	404254,40	7936,56	774,8
1020×14	442,24	557456,96	10930,53	758,67
1220×11	417,59	762883,00	12506,28	1129,64
1220×14	530,16	960594,80	15747,45	1119,22
1420×14	618,08	1527237,80	21510,39	1524,56

Примечания: 1. Сортамент труб трубопроводов высокого давления соответствует сортаменту труб, приведенному в табл. 3.3 и 3.4, низкого давления — ОСТ 34.201-73.

2. Площадь стенки поперечного сечения труб, моменты инерции и сопротивления труб определены соответственно по формулам

$$F = 0,785 d_p^2 \text{ (см. табл. 4.17);}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (D_n^4 - D_v^4);$$

$$W = \frac{2I}{D_n} = \frac{I}{r_n},$$

где  $D_n$  и  $D_v$  — внутренний и наружный диаметры трубы, см.

3. Масса воды в 1 м трубы дана из расчета ее плотности  $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Площадь сечения трубы по ее внутреннему диаметру, см<sup>2</sup>, может быть приближенно определена умножением приведенной в таблице массы воды в 1 м трубы на 10.

### 3.4.2. ОТВОДЫ

В стационарных трубопроводах для изменения направления трассировки применяются так называемые отводы (колена). По способу производства они подразделяются на штампованные, штампосварные, литые, гнутые (в виде гiba трубы) и сварные (секторные) с разными углами поворота.

**Крутоизогнутые отводы** (колена), как правило, изготавливаются штампованными, штампосварными, литыми и имеют меньший радиус гiba, чем гнутые. К крутоизогнутым отводам относится и часть гнутых отводов трубопроводов высокого давления с отношением  $R/D_n < 3,5$ . По Правилам Госгортехнадзора СССР при заводском изготовлении эти отводы могут использоваться для трубопроводов всех категорий (см. табл. 8.1).

**Отводы гнутые** в виде гибов труб с разными углами поворота применяются для трубопроводов как высокого, так и низкого давления. Радиус гiba труб по нейтральной линии рекомендуется принимать не менее 3,5 значения номинального наружного диаметра [1]. Минимальная длина прямого участка трубы после радиуса гiba выбирается по условиям закрепления трубы в процессе ее гнутья. Гидродинамическое сопротивление гнутого отвода меньше, чем крутоизогнутого.

В зависимости от параметров транспортируемой среды и диаметра трубопровода гнутые отводы могут изготавливаться из тех же труб, что и основной трубопровод, или же из труб усиленных, т. е. с большей толщиной стенки. Это обуславливается утонением стенки трубы в процессе ее гнутья, а иногда и требованием выдержать определенную овальность. Для трубопроводов с  $p_y \leq 40 \text{ кгс/см}^2$  гнутые отводы могут изготавливаться на станах с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ). В этом случае радиусы гибов отводов уменьшаются и возможно выполнение гибов одной трубы в разных плоскостях.

**Сварные отводы** изготавливаются из отдельных секторов, вырезанных из труб или сваренных из листов, с различными углами скоса, зависящими от требуемого угла поворота и количества секторов отвода.

По Правилам Госгортехнадзора СССР сварные отводы допускается применять для трубопроводов 3-й и 4-й категорий (см. табл. 8.1). Как правило, сварные отводы изготавливаются из тех же труб, что и трубопровод. Однако для трубопроводов диаметром более 500 мм в зависимости от условного давления на внутренней стороне сектора отвода возникают такие напряжения, что требуется увеличение толщин их стенок. Методика определения толщины стенок сварных отводов приведена в § 10.4. Конфигурация сварных отводов выбирается в зависимости от конфигурации трубопровода с учетом его гидродинамического сопротивления.

### 3.4.3. ОТВЕТВЛЕНИЯ (ТРОЙНИКИ)

Ответвления в стационарных трубопроводах служат для отвода части транспортируемой среды к другому потребителю (элементу схемы).

При присоединении (врезке) ответвляемого трубопровода к основному сечению последнего в месте врезки ответвления ослабляется отверстием. Соединение трубопроводов, для которого это ослабление компенсируется имеющимся запасом прочности основного трубопровода (например, при сравнительно малых диаметрах ответвляемого трубопровода или в случае, если толщина стенки основного трубопровода имеет сравнительно большой запас прочности по расчету на внутреннее давление), выполняется непосредственной врезкой трубы в трубу без специальных усиления. Ответвления, для которых ослабление основного трубопровода врезаемым ответвлением не компенсируется запасом прочности его труб, должны выполняться при помощи специальных усиления. Эти усиления в зависимости от условного давления, марки стали и диаметров соединяемых труб могут выполняться в виде накладок в месте вварки трубы в трубу, усиленных штуцеров, а иногда одновременно тем и другим способом. Такие усиления обычно применяются для тру-

бoportоводов низкого давления. Для трубопроводов высокого давления усиление достигается за счет применения толстостенных тройников.

Методику расчета наибольшего допустимого неукрепленного отверстия, а также расчета усилений при врезке ответвляемого трубопровода см. в § 10.5.

Усиления в виде тройниковых соединений для стационарных трубопроводов как высокого, так и низкого давления стандартизированы и выполняются в виде отдельных деталей. Тройники выпускаются равнопроходными, когда основной и ответвляемый трубопроводы имеют одинаковые диаметры, и переходными, когда эти диаметры разные. В зависимости от параметров среды и технологии изготовления тройники выполняются штампованными, коваными, литыми и сварными.

#### 3.4.4. ПЕРЕХОДЫ

Переходы между трубами разных диаметров выполняются концентрическими и эксцентрическими.

Для трубопроводов низкого давления переходы выполняются сварными листовыми на  $p_y$  10, 16 и 25 кгс/см<sup>2</sup> для  $D_y$  от 50 до 1400 мм. Расчет необходимой при этом толщины листа приведен в § 10.3. Возможно также применение для этих трубопроводов штампованных переходов. Кроме того, для трубопроводов низкого давления раз-

работаны ОСТ на сварные лепестковые переходы, в которых из конца трубы вырезают определенного размера клинья, затем конец обжимают и клинья трубы сваривают между собой. Эти переходы рассчитаны на  $p_y$  10 и 16 кгс/см<sup>2</sup> для  $D_y$  от 150 до 1400 мм. Однако лепестковые переходы следует применять только при отсутствии листовых и штампованных переходов.

Для трубопроводов высокого давления по ОСТ применяются переходы точеные, ковано-точеные и изготовленные обжатием или осадкой бесшовных труб.

#### 3.4.5. ЗАГЛУШКИ

Заглушки (донышки) в стационарных трубопроводах служат для закрытия проходного сечения труб. В зависимости от конструкции они выполняются приварными, фланцевыми и поворотными. Последние устанавливаются при необходимости периодического закрытия и открытия сечения трубопровода. Методика расчета заглушек приведена в § 10.6.

Для трубопроводов низкого давления применяются заглушки сварные (приварные) без ребер жесткости (для труб  $\varnothing$  до 500 мм) и с ребрами жесткости, а также фланцевые заглушки.

Для трубопроводов высокого давления применяются заглушки в виде донышек. Заглушки для трубопроводов как низкого, так и высокого давления также стандартизованы, изготавливаются и поставляются по соответствующим ОСТ.

## Раздел четвертый

### СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ И ДЕТАЛЕЙ СТАЦИОНАРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

#### 4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

По Правилам Госгортехнадзора СССР соединения труб и элементов трубопроводов должны производиться в основном сваркой. Применение фланцевых соединений из-за ряда эксплуатационных недостатков (см. § 4.2) может быть допущено лишь в отдельных случаях. Резьбовые соединения допускаются только для присоединения чугунной арматуры на трубопроводах 4-й категории с  $D_y \leq 100$  мм.

Так как резьбовые соединения в стационарных трубопроводах применяются крайне редко, в справочнике они не приводятся.

#### 4.2. ФЛАНЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

##### 4.2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В стационарных трубопроводах фланцевые соединения применяются либо в тех случаях, когда требуется иметь разъемный трубопровод (трубопроводы химводоочист-

ки с антикоррозийным покрытием, маслопроводы турбины и др.), либо в случаях присоединения трубопровода к фланцевой арматуре, фланцевым измерительным устройствам и оборудованию, имеющему фланец.

Фланцевое соединение состоит из фланцев, прокладки, болтов или шпилек с гайками и шайбами. Прокладка, устанавливаемая между двумя фланцами, сжимается и расплющивается затягом болтов или шпилек. В зависимости от требования к герметичности (надежности работы) фланцевого соединения и параметров транспортируемой среды фланцы имеют разную конструкцию уплотнительной поверхности (плоскую, с выступом и впадиной и др.). Плотность фланцевого соединения зависит от степени прилегания прокладки к зеркалу фланца и конструкции уплотнительной поверхности.

Основные эксплуатационные недостатки фланцевых соединений состоят в следующем:



Таблица 4.1. Перечень ГОСТ на фланцы для стационарных трубопроводов, области их применения и материалы

ГОСТ	Тип фланца	Условное давление $P_u$ , кгс/см <sup>2</sup>	Проход условный $D_u$ , мм	Предельная температура, °С	Материал	
					Марка стали	ГОСТ
1255-67*	Фланцы с соединительным выступом стальные плоские приварные	1 и 2,5	10—1600	≤350	ВСт3сп	380-71*
		6	10—1000			
		10 и 16	10—600			
		25	10—500			
12827-67*	Фланцы без выступа стальные плоские приварные	1 и 2,5	10—1600			
		6	10—1000			
		10 и 16	10—600			
		25	10—500			
12828-67*	Фланцы с выступом или впадиной стальные плоские приварные	1 и 2,5; 6	10—800			
		10 и 16	10—600			
		25	10—500			
12829-67*	Фланцы без выступа стальные приварные встык	1 и 2,5	10—1600	≤300 и ≤450	ВСт3сп 20; 25	380-71* 1050-74**
		6	10—1400			
		10 и 16	10—1200	≤450	20; 25	1050-74**
		25	10—800			
		40	10—500			
12830-67*	Фланцы с соединительным выступом стальные приварные встык	1 и 2,5	10—1600	≤300 и ≤450	ВСт3сп 20; 25	380-71* 1050-74**
		6	10—1400			
		10 и 16	10—1200	≤450 и ≤530	20; 25 15ХМ; 15ХМА	1050-74** 4543-71*
		25	10—800			
		40	10—500			
		64 и 100	10—400			
		160	15—300			
		200	15—250			
12831-67*	Фланцы с выступом или впадиной стальные приварные встык	1 и 2,5; 6; 10; 16; 25	10—800	≤300 и ≤450	ВСт3сп 20; 25	380-71* 1050-74**
		40	10—500	≤450 и ≤530	20; 25 15ХМ; 15ХМА	1050-74** 4543-71*
		64 и 100	10—400			
		160	15—300			
		200	15—250			
12832-67*	Фланцы с шипом или пазом стальные приварные встык	1 и 2,5; 6; 10; 16; 25	10—800	≤300 и ≤450	ВСт3сп 20; 25	380-71* 1050-74**
		40	10—500	≤450 и ≤530	20; 25 15ХМ; 15ХМА	1050-74** 4543-71*
		64; 100	10—400			

**Таблица 4.2. Перечень ОСТ на фланцы и их соединения для стационарных трубопроводов, области их применения и материал**

ОСТ	Тип фланца или его соединения	Условное давление $P_y$ , кгс/см <sup>2</sup>	Условные проходы $D_y$ , мм	Предельная температура, °С	Материал фланцев	
					Марка стали	ГОСТ
ОСТ 34.226-73	Фланцы плоские приварные по ГОСТ 1255-67 с патрубками	2,5 6 10 16 25	10—1400 10—1000 10—600 10—600 10—500	≤300	ВСт3сп5	380-71*
ОСТ 34-42-336-77	Соединения фланцев плоских приварных с патрубками на $P_y \leq 25$ кгс/см <sup>2</sup>	2,5 6 10 16 25	10—1400 10—1000 10—600 10—600 10—500	≤300	ВСт3сп5	380-71*
ОСТ 34-42-337-77	Соединения заглушек с фланцами плоскими приварными с патрубками на $P_y \leq 25$ кгс/см <sup>2</sup>	2,5 6 10 16 25	10—1400 10—1000 10—600 10—600 10—500	≤300	ВСт3сп5	380-71*
ОСТ 34.227-73	Фланцы плоские приварные с патрубками на $P_y \leq 25$ кгс/см <sup>2</sup>	6 10 и 16 25	1200—1400 700—1400 600—1400	≤300	ВСт3сп5	380-71*
ОСТ 34-42-338-77	Соединения фланцев плоских приварных с патрубками на $P_y \leq 25$ кгс/см <sup>2</sup>	6 10 и 16 25	1200—1400 700—1400 600—1400	≤300	ВСт3сп5	380-71*
ОСТ 34-42-339-77	Соединения заглушек с фланцами плоскими приварными с патрубками на $P_y \leq 25$ кгс/см <sup>2</sup>	6 10 и 16 25	1200—1400 700—1400 600—1400	≤300	ВСт3сп5	380-71*
ОСТ 34.228-73	Фланцы плоские приварные с выступом и впадиной	≤40	15—300	≤300	20 или 25	1050-74**
ОСТ 34-42-340-77	Соединения фланцев плоских приварных с выступом и впадиной	≤40	15—300	≤300	20 или 25	1050-74**
ОСТ 34-42-342-77	Соединения заглушек с фланцами плоскими приварными	≤40	15—300	≤300	20 или 25	1050-74**
ОСТ 34.229-73	Фланцы плоские приварные с выступом и впадиной	≤40	350—700	≤300	20 или 25	1050-74*
ОСТ 34-42-341-77	Соединения фланцев плоских приварных с выступом и впадиной	≤40	350—700	≤300	20 или 25	1050-74*
ОСТ 34-42-343-77	Соединения заглушек с фланцами плоскими приварными	≤40	350—700	≤300	20 или 25	1050-74*
ОСТ 34.230-73	Соединения фланцевые $P_y \leq 25$ кгс/см <sup>2</sup> с арматурой $P_y \leq 64$ кгс/см <sup>2</sup>	10, 16, 25	15—400	≤300	ВСт3сп5	380-71*
ОСТ 34.231-73	Соединения фланцевые $P_y \leq 25$ кгс/см <sup>2</sup> с арматурой $P_y \leq 64$ кгс/см <sup>2</sup>	10 16; 25	500—1000 500—600	≤300	ВСт3сп5	380-71*
ОСТ 34-42-344-77	Соединения фланцев литой стальной арматуры	40	40—200	≤300	—	—
ОСТ 34-42-345-77	Соединения фланцев с выступом и впадиной литой стальной арматуры	40	500—600	≤300	—	—
ОСТ 34-42-346-77	Соединения фланцев литой стальной арматуры с фланцами приварными встык	40	40—200	≤300	20 или 25	1050-74*
ОСТ 34-42-347-77	Соединения фланцев с пазом литой стальной арматуры с фланцами с шипом стальными приварными встык	40	15—500	≤300	20 или 25	1050-74*

ОСТ	Тип фланца или его соединения	Условное давление $P_y$ , кгс/см <sup>2</sup>	Условные проходы $D_y$ , мм	Предельная температура, °С	Материал фланцев	
					Марка стали	ГОСТ
ОСТ 34-42-348-77	Соединения фланцев с шипом и пазом литой стальной арматуры	40	15—500	≤300	—	—
ОСТ 34-42-349-77	Соединения фланцев с впадиной литой стальной арматуры с фланцами с выступом приварными встык	40	50—400	≤300	20 или 25	1050-74*

1) для обеспечения необходимой плотности соединения прокладки зажимаются во фланцевом соединении до напряжений, превышающих предел текучести их материала. Под действием внутреннего давления среды в трубопроводе прокладки перенапрягаются и, дойдя до предела своей прочности, разрушаются. В этом смысле наилучшей является конструкция соединения с плоскими фланцами, в которых разрыву прокладок не противопоставлены никакие внешние препятствия. У фланцев с прокладками, утопленными во впадины, таким препятствием является борт впадины, но и эта конструкция не обеспечивает полной надежности фланцевого соединения в течение продолжительного времени работы. Во фланцевых соединениях трубопроводов высокого давления применяются металлические зубчатые прокладки, затягиваемые во фланцах до сплющивания зубцов, чем и достигается герметичность соединения. Однако в этом случае при разьеме соединения металлические прокладки оказываются непригодными для повторного использования и их приходится удалять, а поцарапанные уплотнительные поверхности фланцев заново притирать;

2) при затяжке фланцевых соединений болты и шпильки работают с высоким напряжением, вследствие чего после длительной работы в их металле появляются текучесть и ползучесть, что приводит к ослаб-

лению затяга болтов и к нарушению плотности соединения;

3) при различных коэффициентах теплового расширения металла фланцев и болтов (шпилек) могут возникнуть условия, при которых удлинение болтов окажется больше удлинения фланцев, в результате чего также произойдет ослабление затяга и нарушение плотности фланцевого соединения;

4) при наличии изгибающих нагрузок фланцевые соединения работают с перекосом, приводящим к их раскрытию. Крутящие моменты во фланцевых соединениях вызывают изгиб и срез болтов (шпилек).

#### 4.2.2. ФЛАНЦЫ

Для стационарных трубопроводов применяются фланцы с уплотнительными поверхностями: плоской, с соединительным выступом, с выступом или впадиной, шипом или пазом, а также под зубчатые прокладки.

В зависимости от условного давления и температуры фланцы различаются по типу, присоединительным размерам и материалу. Присоединительные размеры фланцев по наружному диаметру, диаметрам центров болтовых отверстий, а также количеству этих отверстий и их диаметрам независимо от того, выпущен фланец отдельной деталью или отлит совместно с корпу-

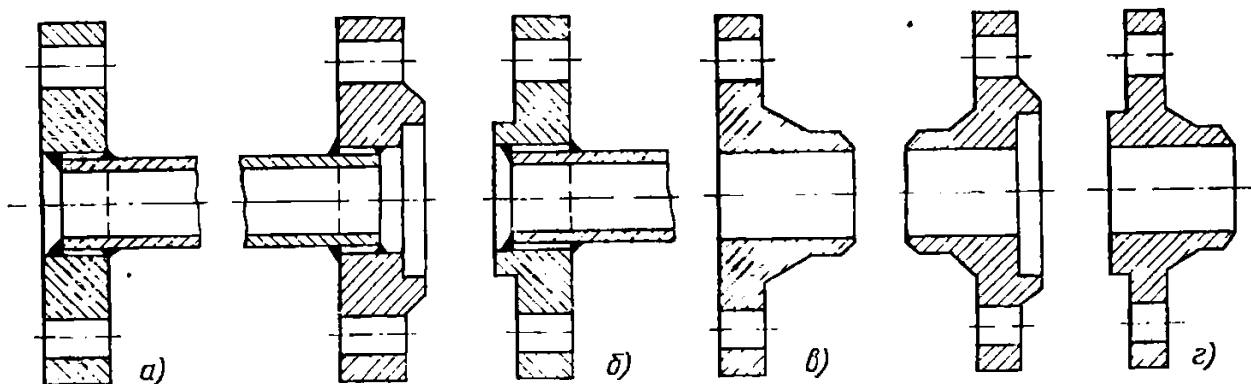


Рис. 4.1. Некоторые типы фланцев по ГОСТ, применяющихся для стационарных трубопроводов:

*а* — фланец без выступа стальной плоский приварной (ГОСТ 12827-67 \*); *б* — фланец с выступом или впадиной стальной плоский приварной (ГОСТ 12828-67 \*); *в* — фланец без выступа стальной приварной встык (ГОСТ 12829-67 \*); *г* — фланец с выступом или впадиной стальной приварной встык (ГОСТ 12831-67 \*)

сом оборудования или арматурой в зависимости от условного давления, одинаковы и отвечают размерам, предусмотренным ГОСТ 1234-67\* «Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов. Присоединительные размеры». Для стационарных трубопроводов применяются как фланцы по ГОСТ, так и специальные фланцы по отраслевым стандартам (ОСТ, МВН). В табл. 4.1 приведены перечень ГОСТ на фланцы для стационарных трубопроводов, области их применения и материал, а на рис. 4.1 показаны фланцы некоторых типов.

Для тепловых электростанций дополнительно разработан ряд отраслевых стандартов на фланцы. В табл. 4.2 приведены перечень ОСТ на фланцы и их соединения, области их применения и материалы, а на рис. 4.2 показаны фланцы некоторых типов.

Фланцы фланцевых измерительных устройств входят в отраслевые стандарты этих устройств (см. § 8.4).

При  $p_y$  не более 40 кгс/см<sup>2</sup> допускается установка плоских фланцев. В остальных случаях должны применяться фланцы приварные встык и имеющие уплотнительные поверхности с выступом или впадиной.

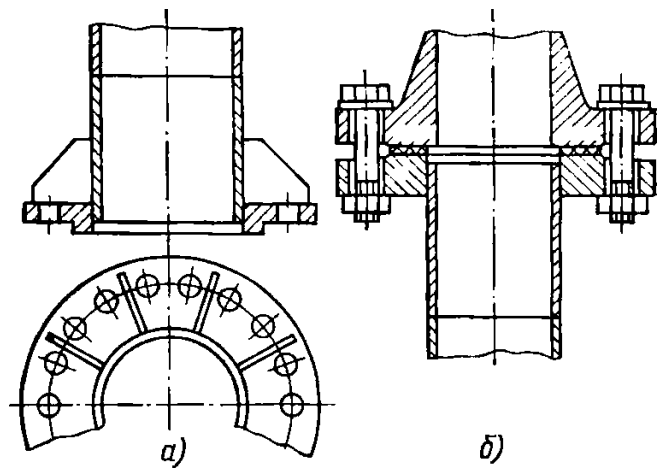


Рис. 4.2. Некоторые типы фланцев по ОСТ, применяющихся для стационарных трубопроводов:

*a* — фланец плоский приварной с патрубком на  $p_y \leq 25$  кгс/см<sup>2</sup> и  $D_y = 600 \div 1400$  мм; *b* — фланец плоский приварной с патрубком на  $p_y \leq 25$  кгс/см<sup>2</sup> для соединения с арматурой  $p_y \leq 64$  кгс/см<sup>2</sup> и  $D_y = 15 \div 400$  мм

и металлические. Металлические прокладки в виде зубчатых применяются для трубопроводов высокого давления.

Материал прокладок должен иметь достаточную прочность и жесткость для вос-

#### 4.2.3. ПРОКЛАДКИ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Прокладки фланцевых соединений стационарных трубопроводов делятся на мягкие

Таблица 4.3. Материалы прокладок фланцевых соединений трубопроводов и области их применения [18]

Область применения			Характеристика прокладок		
Среда	Рабочее давление, кгс/см <sup>2</sup>	Температура, °С	Материал прокладки	Толщина прокладки, мм	ГОСТ или ТУ на материал прокладки
<i>Мягкие прокладки</i>					
Перегретый пар	40—60	450	Паронит	0,5—1	ГОСТ 481-71
Насыщенный или перегретый пар	14—32	250—425	Паронит	1—1,5	ГОСТ 481-71
Вода	40—80	120—160	Паронит	1—1,5	ГОСТ 481-71
Мазут, масло	10	80	Бумага чертежная	0,5—0,20	ГОСТ 597-73*
Мазут	10	10	Картон прокладочный	4	ГОСТ 6406-70
Масло	10	40	Прессшпан	1	ГОСТ 6983-54
Вода	<6	60	Резина сплошная групп I, II, III с двумя прокладками	4	ТУ МХП 233-Н
Вода	>6	<450	Паронит	2	ГОСТ 481-71
Конденсат и горячая вода	<50	<80	Картон прокладочный, пропитанный маслом	3	ГОСТ 6406-70
	<6	>80	Резина группы IV с двумя прокладками	4	ТУ МЭП 233-Н
	<6	>120			
	<64	<250	Паронит	2	ГОСТ 481-71
Вакуум	—	—	Асбестовый картон	4	ГОСТ 2850-75*
Сжатый воздух, азот, инертный газ	<6	<50	Картон прокладочный	3	ГОСТ 6406-70
Газы (азот, водород, углекислый газ)	<50	<120	Паронит	2	ГОСТ 481-71
Газы (азот, водород, углекислый газ)	<35	<425	•	2	ГОСТ 481-71
Ацетилен	<2,5	—	•	2	ГОСТ 481-71
Минеральные и органические кислоты (кроме соляной)	<2,5	—	Листовой асбест, пропитанный жидким стеклом	2—5	ГОСТ 2850-75*
Растворы щелочей, аммиак	<4	<300	Паронит	2—4	ГОСТ 481-71
<i>Стальные зубчатые прокладки</i>					
Перегретый пар	140—250	570	Сталь марки 12X18H10T	3—4	ГОСТ 5632-72*
Перегретый пар	100	510—540	Сталь марки 12X18H9T*	3—4	ГОСТ 5632-72*
Перегретый пар	40—60	570	Сталь марки 12X18H10T	3—4	ГОСТ 5632-72*
Вода	230	230	Сталь марки 12X13	3—4	ГОСТ 5632-72*
Вода	185	215	Сталь марки 12X13**	3—4	ГОСТ 5632-72*

Примечания: 1. Сталь марок, отмеченных знаком \* могут быть заменены сталью марки 1X13.  
2. Сталь марок, отмеченных знаком \*\*, могут быть заменены сталью марки 12XM.

приятия внутреннего давления и тепловых удлинений трубопровода, так как иначе прокладка может быть выжата давлением. Кроме того, он должен быть устойчивым против агрессивной среды, а также длительного воздействия температуры. Материалы прокладок и их типы зависят от параметров среды трубопровода, на котором устанавливается фланцевое соединение. В табл. 4.3 приведены материалы прокладок фланцевых соединений трубопроводов и области их применения. Типы, размеры, пределы применения и массы зубчатых прокладок трубопроводов высокого давления должны приниматься по ОСТ.

#### 4.2.4. КРЕПЕЖНЫЕ ДЕТАЛИ

В качестве крепежных деталей фланцевых соединений стационарных трубопроводов используются болты и шпильки с гайками и шайбами. Применение болтов допускается для фланцевых соединений с  $p_y$  не более  $25 \text{ кгс/см}^2$  и температурой не выше  $300^\circ\text{C}$ . В остальных случаях должны применяться шпильки.

Материалы крепежных деталей и фланцев должны иметь одни и те же коэффициенты линейного расширения. Применение материалов с различными коэффициентами линейного расширения допускается для соединений, работающих в пределах температур от  $-10$  до  $100^\circ\text{C}$ . Гайки должны применяться из сталей с меньшей твердостью, чем болт или шпилька. Крепежные детали из легированных сталей должны подвергаться термической обработке.

Марки сталей, а также ГОСТ на технические требования для болтов, шпилек, гаек и шайб в зависимости от параметров среды стационарных трубопроводов должны применяться строго в соответствии с Правилами Госгортехнадзора СССР.

Для фланцевых соединений стационарных трубопроводов с  $p_y < 40 \text{ кгс/см}^2$  применяются болты, шпильки и гайки, выпускаемые по ГОСТ 1759-70\* (технические требования). По этому ГОСТ болты, шпильки и гайки различаются в том числе и по классам прочности, которые определяются временным сопротивлением и пределом текучести стали, из которой они изготовлены, а также объемом видов испытаний (на разрыв, твердость, ударную вязкость и др.).

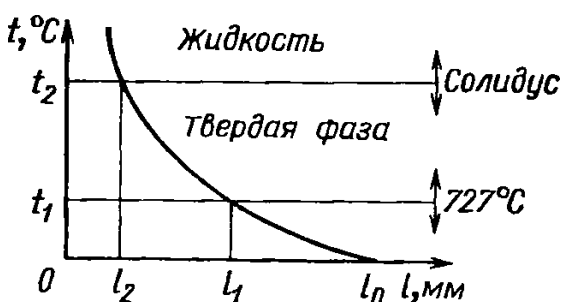


Рис. 4.3. Условная диаграмма распределения температур в зоне сварки

Класс прочности болтов и шпилек по этому ГОСТ обозначается двумя цифрами, например 3.6, 4.6, 4.8, 5.6 и т. д. Первая цифра в показателе класса прочности, умноженная на 10, определяет значение минимального временного сопротивления,  $\text{кгс/мм}^2$ ; вторая цифра, умноженная на 10, определяет отношение предела текучести к временному сопротивлению, %; произведение этих цифр определяет значение предела текучести,  $\text{кгс/мм}^2$ . Гайки по этому же ГОСТ различаются также по классам прочности, которые обозначаются цифрами 4, 5, 6, 8, 10, 12 и 14, причем каждая из этих цифр, умноженная на 10, дает значение напряжения от испытательной нагрузки,  $\text{кгс/мм}^2$ .

Для трубопроводов с  $p_y > 40 \text{ кгс/см}^2$  применяются шпильки с гайками и шайбами по ГОСТ 20700-75 (технические требования), по которому классы прочности отсутствуют.

Расчет фланцевых соединений стационарных трубопроводов, т. е. определение усилий в болтах и шпильках, их диаметров, количества и т. д., см. [17, с. 58]. Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) из углеродистой и легированной сталей — см. табл. 4.4.

### 4.3. СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ И ИХ ДЕТАЛЕЙ

#### 4.3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Процесс сварки основан на заполнении сварочного шва между свариваемыми трубами или их деталями металлом расплавленного электрода или сварочной проволоки. В связи с тем что расплавление металла при сварке происходит только в самом шве, а весь остальной объем свариваемых изделий остается в твердом состоянии, температурный режим свариваемых деталей по их длине (или объему) оказывается крайне неравномерным.

На рис. 4.3 представлена условная диаграмма распределения температур в зоне сварки стальных изделий по расстоянию от центра расплавленной зоны шва. В корне шва находится расплавленный металл с температурой, превышающей температуру его плавления. Расплавление металла распространяется на расстояние  $l_2$  от центра шва; за пределами шва металл хотя и прогревается за счет теплопроводности, но остается в твердом состоянии. По мере удаления от центра шва температура металла снижается, достигая в точке  $l_1$   $727^\circ\text{C}$ , при которой в стали заканчивается перекристаллизация всех видов. За пределами расстояния  $l_1$  температура металла продолжает снижаться, и на расстоянии  $l_0$  металл практически сохраняет во время сварки ту же температуру, которую имел до нее. Помимо продольных нарушений температурного поля в металле околосварочной зоны трубы нарушения появляются также и вдоль шва, поскольку сварка и сплавление ме-

Таблица 4.4. Допускаемые напряжения для болтов (шпилек)  $[\sigma]_b$ , кгс/см<sup>2</sup>, из углеродистой и легированной сталей

Марки стали	Расчетная температура болта (шпильки) $t_b$ , °C																	
	20	100	200	250	300	350	375	400	425	450	475	500	510	520	530	540	550	560
ВСт3сп	1050	970	880	830	780	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ВСт4сп	1100	1020	950	900	850	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ВСт5сп	1150	1070	1000	950	875	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	1100	1060	1000	950	900	800	750	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	1200	1120	1050	1000	925	850	800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	1250	1200	1100	1050	975	875	825	750	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	1350	1300	1200	1100	1000	900	850	775	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	1450	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35X	2050	1900	1750	1650	1550	1450	1400	1300	1100*	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40X	2150	2030	1850	1750	1650	1500	1450	1350	1150*	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30ХМА; 35ХМ	2660	2500	2300	2200	2100	2000	1850	1650	1450	1150*	—	—	—	—	—	—	—	—
25Х1МФ (ЭИ10)	3000	2900	2750	2700	2600	2450	2300	2050	1800	1550	1300	850*	—	—	—	—	—	—
25Х2МФ (ЭИ723)	3000	2900	2750	2700	2600	2450	2350	2200	2050	1800	1500	1250	1150	—	—	—	—	—
20Х1М1Ф1ТР (ЭП182)	3000	2900	2750	2700	2600	2500	2400	2300	2200	2050	1900	1650	1575	1525	1475	1400	1325	1250*
ХН35ВТ (ЭИ612)	2000	—	—	—	1900	—	—	1850	—	—	—	1800	1750	1675	1625	1550	1500	1400

\*Для применения марки стали при данной температуре требуется согласование с Госгортехнадзором СССР.

Примечания: 1. Для болтов или шпилек диаметрами < 2,4 см допускаемые напряжения по этой таблице должны быть увеличены на поправочный коэффициент в зависимости от диаметра болта (шпильки):

Диаметр болта, $d_b$ , см . . . . .	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
Поправочный коэффициент . . . . .	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

2 Расчетная температура болтов (шпилек)  $t_b$  принимается, исходя из следующих отношений расчетной температуры болтов (шпилек) к расчетной температуре среды: для сквозных болтов (шпилек), скрепляющих жесткие фланцы или жесткий фланец с крышкой, а также для ввертных шпилек—0,95; для сквозных болтов (шпилек), скрепляющих два свободных фланца, —0,9; для сквозных болтов (шпилек), скрепляющих жесткий фланец или крышку со свободным фланцем, —0,93.

талла свариваемых труб происходят не одновременно по всему периметру шва, а лишь отдельными небольшими участками.

Таким образом, оказывается, что на сравнительно небольшом участке свариваемой трубы одновременно существуют различные фазы сплава: жидкость,  $\gamma$ -твердый раствор, механическая смесь и различные закалочные или отжиговые фазы с различными параметрами кристаллической решетки. Поэтому вокруг сварного шва образуются зоны с различными удельными объемами металла, что приводит к возникновению внутренних напряжений, которые сохраняются в холодном металле и после охлаждения сварного шва. Суммарное послесварочное напряжение в околошовной зоне может оказаться таким большим, что металл в ней охрупчивается.

Образованию в околошовной зоне закалочных фаз (мартенсита и т. п.) способствует наличие в стали углерода и некоторых легирующих элементов (особенно ванадия, вольфрама, молибдена и хрома). Данные о свариваемости углеродистых сталей в зависимости от содержания углерода приведены в табл. 4.5, а в табл. 4.6 дано предельное содержание углерода по свариваемости для углеродистых и легированных сталей.

В сварных соединениях могут наблюдаться следующие дефекты: несплавление наплавленного и основного металлов, непровары в корне шва, раковины, шлаковые включения, трещины, подрезы и прожоги, несоответствие шва проектным требованиям.

Для снятия остаточных напряжений после сварки, повышения пластичности шва и получения структуры шва, обеспечивающей высокую надежность эксплуатации трубопроводов, применяется термическая обработка сварного соединения (в основном для трубопроводов высокого давления), при этом сварные стыки и околошовные зоны подвергаются нагреву до температуры, обеспечивающей нормальное течение различных перекристаллизационных, диффузионных и других процессов, следствием чего является выравнивание структур наплавленного металла шва, околошовной зоны и основного металла. В результате правильно

Таблица 4.5. Данные о свариваемости углеродистых сталей в зависимости от содержания углерода

Марка стали	Содержание (среднее) углерода, %	Характеристика свариваемости
0,5	<0,10	Легко сваривается
10	0,10	То же
15	0,15	"
20	0,20	Средне сваривается
25	0,25	Трудно сваривается
30	0,30	Очень трудно сваривается
35	0,35	Практически не сваривается

Примечание. Подробнее о свариваемости углеродистых сталей—см. специальную литературу по сварке.

Таблица 4.6. Предельное содержание углерода по свариваемости для углеродистых и легированных сталей

Наименование стали	Предельное содержание углерода по свариваемости, %
Углеродистые стали	0,30
Молибденовые стали при содержании молибдена 0,5%	$\geq 0,25$
Низколегированные хромомолибденовые стали ферритно-перлитного класса	0,15—0,20
Высоколегированные хромоникелевые стали аустенитного класса	0,15—0,20

проведенной термической обработки в сварных стыках исчезают условия возникновения в будущем процессов разупрочнения, а также снимаются послесварочные напряжения.

В зависимости от толщин стенок свариваемых труб и элементов трубопроводов, а также условного давления среды применяются различные формы разделки их кромок, которые определяются отраслевыми стандартами.

В некоторых случаях сварка производится при помощи подкладных колец, вводимых внутрь трубы и предназначенных для предотвращения образования грата (застывших капель и нитей металла) внутри трубы. Подкладные кольца привариваются к трубе и остаются в ней. В некоторых случаях применяются так называемые инвентарные кольца, изготавливаемые из непривариваемых к стали материалов (медные и др.), которые после выполнения сварного шва удаляются.

При сварке труб и других элементов с продольными сварными швами последние должны быть смещены один относительно другого, при этом смещение должно составлять не менее трехкратной толщины стенки свариваемых труб (элементов), но не менее 100 мм (на трубы и элементы с наружным диаметром менее 100 мм это условие не распространяется).

В отдельных случаях для труб с двусторонним продольным швом допускается расположение продольных швов труб и элементов по одной оси при условии контроля места пересечения продольных швов с поперечным швом просвечиванием или ультразвуковой дефектоскопией.

Для поперечных стыковых сварных соединений, не подлежащих ультразвуковому контролю или местной термической обработке, расстояние между осями соседних сварных швов на прямых участках трубопровода должно составлять не менее трехкратной толщины стенки свариваемых труб (элементов), но не менее 100 мм, а для трубопроводов 4-й категории—не менее 50 мм. Расстояние от оси сварного шва до начала закругления (при расположении

Таблица 4.7. Длина свободного прямого участка трубы (элемента) в каждую сторону от оси сварного шва для поперечных стыковых соединений, подлежащих ультразвуковому контролю

Номинальная толщина стенки свариваемых труб (элементов) $S_n$ , мм	Минимальная длина $l$ свободного прямого участка трубы (элемента) в каждую сторону от сварного шва, мм
До 15 (включительно)	100
Свыше 15 до 30 (включительно)	$5S_n + 25$
Свыше 30 до 36 (включительно)	175
Более 36	$4S_n + 30$

сварных соединений вблизи гибов) должно составлять не менее 100 мм.

Для поперечных стыковых сварных соединений, подлежащих ультразвуковому контролю, длина свободного прямого участка трубы (элемента) в каждую сторону от оси сварного шва до ближайших приварных деталей и элементов, начала ггиба, оси соседнего поперечного шва и т. д. должна быть не менее длины, приведенной в табл. 4.7.

Для поперечных стыковых сварных соединений, подлежащих местной термической обработке, длина свободного прямого участка трубы (элемента) в каждую сторону от оси шва (до ближайших приварных деталей и элементов, начала ггиба, соседнего поперечного шва и т. д.) должна быть не менее длины  $l$ , определяемой по формуле  $l = 1,5\sqrt{(D_n - S_n)S_n}$  (где  $D_n$  — наружный диаметр трубы, мм;  $S_n$  — номинальная толщина стенки свариваемых труб (элементов), мм), но не менее 100 мм.

Расстояние от начала ггиба (закругления) до оси поперечного шва (кроме приварки крутозагнутых и штампованных колен) должно быть при  $D_n$  до 100 мм — не менее  $D_n$ , но не менее 50 мм, более 100 мм — не менее  $D_n S$ , но не менее 100 мм [8].

При установке крутоизогнутых и штампосварных колен (отводов) допускаются расположение поперечных сварных соединений у начала закругления и сварка крутоизогнутых отводов без прямого участка.

При угловых (тавровых) сварных соединениях труб и штуцеров с элементами трубопроводов расстояние от наружной поверхности элемента до начала ггиба трубы или оси поперечного стыкового шва должно составлять: для труб (штуцеров) с наружным диаметром до 100 мм — не менее наружного диаметра трубы, но не менее 50 мм; для труб (штуцеров) с наружным диаметром 100 мм и более — не менее 100 мм. Сварные соединения трубопроводов должны располагаться на расстоянии не менее 200 мм от края опоры.

Коэффициенты прочности продольных сварных швов при расчете сварных труб на прочность от внутреннего давления приведены в табл. 4.8. Коэффициент прочности поперечных сварных швов трубопроводов при изгибе  $\varphi$  принимается по табл. 4.9.

Сварка трубопроводов в зависимости от марки стали труб и элементов, толщины их стенок и способа сварки производится электродами различных марок или с помощью присадочной проволоки. При изготовлении, монтаже и ремонте трубопроводов и их элементов допускается применение всех промышленных методов сварки,

Таблица 4.8. Коэффициенты прочности продольных сварных швов по ОСТ 108.031.02-75

Условия контроля и вид сварки	Сталь	Значение коэффициента $\varphi$
При сварке с контролем качества шва по всей его длине неразрушающими методами, обеспечением полного провара по всей толщине стыкуемых деталей и при условии проведения в необходимых случаях термической обработки после сварки: любой допущенный способ автоматической, полуавтоматической или ручной сварки	Углеродистая, низколегированная марганцовистая и хромомолибденовая, а также аустенитная Хромомолибденованадиевая и высокохромистая	1,0
		0,9
		0,9 0,7
При сварке с контролем качества швов неразрушающими методами по особому разрешению Госгортехнадзора СССР не по всей длине: автоматическая двусторонняя сварка под флюсом, электрошлаковая сварка, контактная сварка, односторонняя ручная и автоматическая сварка под флюсом на подкладной планке или с подваркой основания шва, ручная сварка в атмосфере углекислого газа и аргонодуговая сварка все другие, не указанные выше виды ручной электрической и газовой сварки	Углеродистая и низколегированная марганцовистая	0,85
		0,70
Для спиральношовных труб трубопроводов при условии проведения контроля качества шва по всей его длине неразрушающими методами и смещения кромок не более, чем на 15%	То же	0,85

Примечания: 1. При расчетной температуре металла от 510 до 530 °С коэффициент прочности сварного шва  $\varphi$  определяется линейным интерполированием между указанными значениями коэффициентов прочности.  
2. Усиление шва в коэффициенте прочности не учитывается.



Таблица 4.9. Коэффициент прочности поперечных сварных швов трубопроводов при изгибе по ОСТ 108.031.02-75

Сталь сварных труб	Коэффициент $\varphi_H$ для труб	
	ката-ных	механически обра-ботанных
Аустенитная и высокохромистая Хромомолибденованадиевая при расчетной температуре: 510 °С и менее	0,6	0,7
530 °С и более	0,8	0,9
Углеродистая и низколегированная марганцовистая и хромо-молибденовая	0,6	0,7
	0,8	0,9

Примечание. При расчетной температуре от 510 до 530 °С коэффициент прочности сварного шва при изгибе определяется линейным интерполированием между указанными значениями.

обеспечивающих необходимую эксплуатационную надежность сварных соединений.

При изготовлении трубопроводов сварка элементов, предназначенных для работы под давлением, должна выполняться при температуре окружающего воздуха не ниже 0°С. При монтаже допускается сварка труб при отрицательной температуре, но с соблюдением определенных условий в основном при обеспечении подогрева. При дожде, ветре и снегопаде сварочные работы по монтажу трубопроводов могут выполняться лишь при условии надлежащей защиты сварщика и места сварки.

#### 4.3.2. СПОСОБЫ СВАРКИ ТРУБОПРОВОДОВ, ЭЛЕКТРОДЫ И РАЗДЕЛКА КРОМОК

Наиболее распространенными при монтаже и ремонте стационарных трубопроводов являются следующие способы сварки:

- 1) ручная электродуговая сварка (плавящимся металлическим электродом). Этот вид сварки имеет самое широкое применение при монтаже и ремонте трубопроводов;
- 2) полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа или порошковой проволокой (трубчатый электрод, заполненный порошкообразной смесью — шихтой);
- 3) ручная аргодуговая сварка;
- 4) автоматическая и полуавтоматическая аргодуговая сварка. Подробное описание этих способов см. в [19].

Сварка трубопроводов в зависимости от марки стали труб и их деталей, а также способа сварки производится электродами или сварочной проволокой различных типов и марок. При полуавтоматической сварке в среде углекислого газа, а также при ручной, автоматической и полуавтоматической сварке применяется сварочная проволока различных марок (ГОСТ 2246-70). Для сварки трубопроводов ручным электродуговым способом применяются электроды, выпускаемые по ГОСТ 9467-75. Типы и марки электродов, применяемых при электродуговой ручной сварке стационарных трубопроводов, приведены в табл. 4.10.

Кромки свариваемых концов труб и их элементов перед процессом сварки должны быть специально обработаны в соответствии с требованиями соответствующих отраслевых стандартов. Форма разделки кромок и область применения того или иного типа сварного шва зависят от марки стали, диаметра труб, толщины стенки и вида сварки. Отраслевые стандарты на сварные стыковые соединения стационарных трубопроводов высокого и низкого давления выпускаются отдельно, и в них учитывается специфика этих трубопроводов. В этих ОСТ, кроме того, предъявляются специальные требования к допускаемому смещению кромок как по наружному, так и по внутреннему диаметрам свариваемых труб или элементов, оговаривается возможность расточки свариваемых элементов в районе шва (угол скоса, допустимые толщины расточенных кромок и т. п.) и др.

#### 4.3.3. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Термическая обработка сварных соединений трубопроводов производится для снятия остаточных напряжений, возникающих при сварке, а также для улучшения пластических свойств сварных швов (выравнивания структуры металла в сварных швах и околошовной зоне со структурой основного металла).

По Правилам Госгортехнадзора СССР термическая обработка сварных соединений трубопроводов является обязательной для следующих сварных стыковых соединений: из углеродистой стали при толщине стенки более 36 мм; из марганцовистой стали (16ГС, 15ГС и др.) при толщине стенки более 30 мм; из легированной стали — согласно указаниям стандартов и инструкций по сварке. В основном термическая обработка сварных швов стационарных трубопроводов производится в трубопроводах высокого давления.

В монтажных условиях наибольшее распространение получили такие виды термической обработки сварных швов, как отпуск, нормализация и аустенизация (см. § 3.2).

Для термической обработки сварных соединений трубопроводов применяются следующие основные способы нагрева:

- 1) использование нагревательных печей, в которых производится общая термическая обработка отдельных участков или блоков трубопроводов. В этом случае блоки трубопроводов загружаются в печь целиком, где подвергаются равномерному и одинаковому для всех элементов блока нагреву. Это наилучший способ термической обработки сварных стыков трубопроводов, обеспечивающий равномерность свойств металла по всему его объему. Вместе с тем этот способ весьма громоздок и может применяться только в стационарных условиях завода;

Таблица 4.10. Марки электродов и их типы, применяемые при электродуговой ручной сварке стыков стационарных трубопроводов по РТМ-ИС-81

Марка стали свариваемых труб (элементов)	Электроды	
	Марка	Тип по ГОСТ 9467-75 и ГОСТ 10052-75
10, 15, 20, ВСт2кп, ВСт2сп, ВСт2пс, ВСт3кп, ВСт3Гпс, ВСт3пс	<i>Углеродистая сталь</i>	
	АНО-6М <sup>*1</sup> ; ВСЦ-4 <sup>*2</sup>	Э42
	УОНИ-13/45	Э42А
	МР-3 <sup>*1</sup> ; ОЗС-4 <sup>*1</sup> ; ОЗС-6 <sup>*1</sup> ; АНО-12 <sup>*2</sup> ; АНО-14 <sup>*2</sup>	Э46
ВСт3сп, ВСт4сп, 15Л, 20Л, 25Л	ЦУ-5; УОНИ-13/55; ТМУ-21, ТМУ-21У	Э50А
	ВСЦ-4 <sup>*2</sup>	Э42
	УОНИ-13/45	Э42А
15ГС, 16ГС, 17ГС, 09Г2С, 10Г2С1, 14ХГС	УОНИ-13/55; ЦУ-5; ТМУ-21	Э50А
	<i>Низколегированная сталь</i>	
	ВСЦ-4 <sup>*2</sup>	Э42
	ЦУ-5; УОНИ-13/55; ТМУ-21; ТМУ-21У	Э50А
12МХ, 15ХМ, 20ХМЛ, 12Х2М1, 12Х1МФ, 12Х2МФБ, 12Х2МФСР	<i>Легированная сталь</i>	
	<i>Трубы диаметром 100 мм и менее</i>	
	ТМЛ-1; ТМЛ-1У	Э-09Х1М
	ТМЛ-3; ЦЛ-33	Э-09Х1МФ
12Х11В2МФ (ЭИ756)	ЭА-400/10у; ЭА-400/10т	Э-07Х19Н11М3Г2Ф
08Х18Н12Т, 12Х18Н12Т, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т	ЦГ-26	Э-08Х16Н8М2
	ЭА-400/10у; ЭА-400/10т	Э-07Х19Н11М3Г2Ф
	ЦГ-15	Э-08Х19Н10Г2Б
	ЭА-395/9	Э-11Х15Н25М6АГ2
12МХ, 15ХМ, 20ХМЛ (работающие при предельно допустимых температурах)	<i>Трубы диаметром более 100 мм</i>	
	ТМЛ-1; ТМЛ-1У	Э-09Х1М
12Х1МФ, 20ХМФЛ (работающие при температуре до 540 °С)	ТМЛ-1; ТМЛ-1У	Э-09Х1М
	ЦЛ-20-67; ТМЛ-3; ТМЛ-3У	Э-09Х1МФ
12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 15Х1М1ФЛ (работающие при температуре до 570 °С)	ЦЛ-26-67; ЦЛ-45; ТМЛ-3; ТМЛ-3У	Э-09Х1МФ

<sup>\*1</sup> Электроды можно применять для сварки следующих изделий из углеродистых сталей: трубопроводов пара и горячей воды категорий 3 и 4; трубопроводов в пределах котла и турбины с рабочим давлением не более 39 кгс/см<sup>2</sup> и температурой не более 350 °С; труб поверхностей нагрева котлов с рабочим давлением до 50 кгс/см<sup>2</sup>; трубопроводов, на которые не распространяются правила Госгортехнадзора СССР, кроме трубопроводов регулирования турбин, маслопроводов и мазутопроводов.

<sup>\*2</sup> Электроды для сварки только корневого слоя стыков газопроводов диаметром 219 мм и более без подкладных колец.

Примечания: 1. Если проектом предусмотрены трубы из углеродистой стали, а устанавливаются трубы из низколегированной стали тех же размеров (диаметр и толщина стенки), то разрешается применять углеродистые электроды с основным (фтористокальциевым) покрытием.

2. Электроды АНО-6М, МР-3, ОЗС-4, ОЗС-6, АНО-12, АНО-14 предназначены для сварки как на переменном, так и на постоянном токе обратной полярности (+ на электроде); электроды ВСЦ-4 — на постоянном токе любой полярности; электроды остальных марок — на постоянном токе обратной полярности.

- 2) индукционный;
- 3) электропечной;
- 4) газопламенный.

Последние три вида нагрева применяются в основном в условиях монтажа и ремонта. Подробное описание режимов термической обработки сварных соединений и способов нагрева при этом — см. [8, с. 91].

#### 4.3.4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Контроль сварных соединений должен гарантировать высокое качество и эксплуатационную надежность работы трубопроводов. По Правилам Госгортехнадзора СССР контроль качества сварных соединений трубопроводов производится следующими методами:

- 1) внешним осмотром и измерением;
- 2) ультразвуковой дефектоскопией (УЗД);
- 3) просвечиванием проникающим излучением (рентгено- или гаммаграфированием);
- 4) механическими испытаниями (на растяжение, изгиб, твердость и пр.);

- 5) металлографическим исследованием;
- 6) другими методами (стелоскопированием, замером твердости, травлением, цветной дефектоскопией и пр.), если они предусмотрены производственной инструкцией по сварке.

Контроль (за исключением стелоскопирования) должен производиться после проведения термической обработки шва, если таковая является обязательной для данного сварного соединения.

Подробное описание каждого из методов контроля, а также другие данные по этому вопросу см. в [8, с. 116].

Объем контроля сварных соединений трубопроводов в зависимости от параметров среды, наружного диаметра и толщины стенки труб, характера сварного соединения устанавливается Правилами Госгортехнадзора СССР, техническими условиями на изготовление трубопровода или его элементов, а также инструкциями по сварке.

Объем контроля сварных соединений труб, выполняемый на монтаже или при ремонте трубопроводов тепловых электростанций, приведен в [8, с. 125].

## Раздел пятый

### ТЕПЛОВЫЕ УДЛИНЕНИЯ СТАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ, ИХ КОМПЕНСИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И КОМПЕНСИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

#### 5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При транспортировке стационарными трубопроводами горячей среды (пар, вода и др.) металл трубопроводов расширяется. В трубопроводах, имеющих большую протяженность, это удлинение может быть значительным.

Удлинение трубопровода складывается из теплового и упругого удлинений. Тепловое удлинение одного метра трубопровода  $\delta_t$ , см/м, определяется по формуле

$$\delta_t = \alpha(t - t_m) \cdot 10^2,$$

где  $\alpha$  — температурный коэффициент линейного расширения стали данной марки, мм/(м·°С);  $t$  — конечная температура нагрева трубопровода (температура транспортируемой среды), °С;  $t_m$  — начальная температура нагрева трубопровода, при которой ведется монтаж, °С.

В большинстве случаев температуры  $t_m$  настолько малы по сравнению с температурами транспортируемых трубопроводами сред, что ими можно пренебречь, и с достаточной точностью тепловое удлинение может быть рассчитано по формуле

$$\delta_t = \alpha t.$$

Упругое удлинение (относительное продольное удлинение) одного метра трубо-

провода  $\delta_p$ , см/м, под влиянием внутреннего давления определяется по формуле

$$\delta_p = \frac{10p}{E} \left( \frac{D_n}{S} - 3 \right),$$

где  $p$  — давление в трубопроводе, кгс/см<sup>2</sup>;  $E$  — модуль упругости металла стенки трубы, кгс/см<sup>2</sup>;  $D_n$  — наружный диаметр трубы, см;  $S$  — толщина стенки трубы, см.

Упругое удлинение  $\delta_p$  учитывается в расчетах на компенсацию, если его значение достигает 4—5% значения теплового удлинения. Если  $\delta_p$  меньше указанного значения, то им можно пренебречь.

Суммарное удлинение одного метра трубопровода  $\delta$ , см/м, при рабочих параметрах равно:

$$\delta = \delta_t + \delta_p.$$

Однако тепловое удлинение участка трубопровода чаще всего определяется по формуле

$$\Delta l = l \delta_t,$$

где  $l$  — длина участка трубопровода, м.

Конечная температура  $t$  нагрева трубопровода принимается равной максимальной (при входе в трубопровод) температуре протекающей через него среды. Возможное охлаждение последней по длине трубопро-

вода не учитывается, так как горячие трубопроводы имеют тепловую изоляцию. Возможное кратковременное повышение температуры среды (в пределах допусков) также не учитывается.

Температурные коэффициенты линейного расширения  $\alpha$  трубопроводных сталей различных марок в зависимости от температуры приведены в табл. 2.19, 2.24 и 2.29, удельные тепловые удлинения  $\delta_t = \alpha t$  для наиболее употребляемых трубопроводных сталей приведены в табл. 5.1.

Способность трубопровода к деформации под воздействием возникающих в нем удлинений без перенапряжений (в пределах допускаемых) называется его *компенсирующей способностью*. Если трубопровод способен обеспечить названную компенсацию гибкостью составляющих его плеч без применения специальных компенсирующих устройств, то такая его способность называется *самокомпенсацией*.

Если в трубопроводе не будет предусмотрена возможность компенсации его тепловых удлинений, в нем могут возникнуть усилия, способные прогнуть трубопровод, порвать места присоединения к нему других трубопроводов (за счет больших перемещений точки присоединения), вызвать недопустимые силы и моменты у оборудования или строительной конструкции, к которым присоединяется или крепится трубопровод, и т. п. Поэтому к вопросам компенсации стационарных трубопроводов следует подходить очень серьезно, в особенности это относится к трубопроводам высокого давления, работающим в области высоких температур.

В трубопроводах тепловых электрических станций с давлением свыше  $16 \text{ кгс/см}^2$  (для водяных тепловых сетей —  $25 \text{ кгс/см}^2$ ) единственно возможным способом компенсации тепловых удлинений является компенсация за счет упругой деформации изгиба и кручения самих трубопроводов, т. е. их самокомпенсации. В этом случае необходимо, чтобы трубопровод включал в себя несколько плеч, но не менее двух, расположенных под углом друг к другу и имеющих определенные размеры, причем гнутые отводы делают трубопровод более гибким, чем сварные или крутоизогнутые.

Самокомпенсация трубопровода зависит от его конфигурации и правильной расстановки опор на нем, в особенности неподвижных. В некоторых случаях для восприятия тепловых удлинений в трубопроводе создают искусственные гнутые участки трубопровода, чаще всего в виде П-образных компенсаторов (см. рис. 1.2).

Для компенсации тепловых удлинений трубопроводов с  $p_y \leq 16 \text{ кгс/см}^2$  могут применяться специальные устройства в виде линзовых компенсаторов (осевых и шарнирных), а для прямых участков большой протяженности тепловых сетей с  $p_y \leq 16$  и  $p_y \leq 25 \text{ кгс/см}^2$  — сальниковые компенсаторы. Каждое из этих устройств рассчитано на

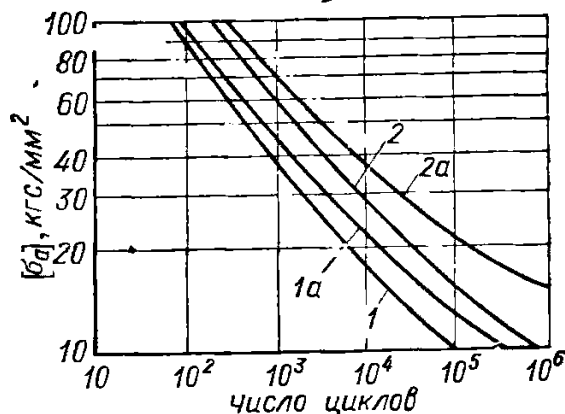


Рис. 5.1. График допусаемых амплитуд напряжений для элементов трубопровода:

1 — для прямолинейных труб, криволинейных труб и секторных отводов при расчете по формуле (10а) и тройниковых узлов при расчете по формуле (11) [5, с. 26] из углеродистой или легированной (не аустенитной) стали при рабочей температуре до  $370 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 1а — для тех же элементов из аустенитной стали при рабочей температуре до  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 2 — для криволинейных труб, секторных отводов при расчете по формуле (10б) [5, с. 26] и тройниковых узлов при расчете по формуле (12) [5, с. 27] из углеродистой или легированной (не аустенитной) стали при рабочей температуре до  $370 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 2а — для тех же элементов из аустенитной стали при рабочей температуре до  $450 \text{ }^\circ\text{C}$

возможность компенсации определенного теплового удлинения.

Компенсирующая способность трубопроводов должна проверяться расчетом.

Расчеты на компенсацию трубопровода заданной конфигурации сводятся к определению и анализу возникающих в нем сил и напряжений, т. е. к расчету на прочность.

Расчеты, выполняемые вручную по имеющимся методикам, трудоемки и связаны с большим объемом вычислений. Кроме того, в них не учитывается ряд факторов, возникающих в трубопроводе при его работе. В особенности это относится к трубопроводам высокого давления.

В настоящее время расчет компенсации трубопроводов выполняется с помощью электронных вычислительных машин (ЭВМ), которые открыли широкую возможность расчета на прочность трубопроводов любой конфигурации с учетом всех возможных нагрузок и режимов работы.

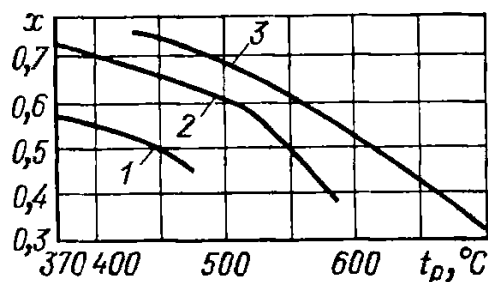


Рис. 5.2. График коэффициента усреднения компенсационных напряжений для сталей различных марок:

1 — для сталей марок 20, 15ГС, 16ГС; 2 — для сталей марок 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 15ХМ, 12МХ; 3 — для сталей марок 12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т

Таблица 5.1. Удельные тепловые удлинения ( $\delta_t = \alpha t$ ) наиболее

Марка стали	$\delta_t$ , мм/м. при								
	100	150	185	200	230	280	300	340	
10	1,16	1,84	2,32	2,52	2,92	3,59	3,86	4,40	
20	1,11	1,76	2,22	2,42	2,84	3,53	5,81	4,43	
25	1,21	1,87	2,33	2,53	2,95	3,65	3,92	4,51	
16ГС	1,30	2,05	2,58	2,80	3,34	4,23	4,59	5,35	
12МХ	1,12	1,81	2,29	2,50	2,89	3,55	3,81	4,35	
15ХМ	1,19	1,85	2,32	2,52	2,95	3,67	3,96	4,57	
12Х1МФ	1,08	1,72	2,17	2,36	2,76	3,44	3,70	4,27	
15Х1М1Ф	1,12	1,73	2,16	2,34	2,75	3,47	3,75	4,33	
12Х2МФСР	1,10	1,74	2,20	2,39	2,81	3,51	3,80	4,40	
25Х1МФ	1,10	1,75	2,21	2,40	2,82	3,53	3,81	4,47	
25Х2М1Ф	1,25	1,92	2,38	2,58	3,00	3,71	3,99	4,59	
20Х1М1Ф1ТР	—	—	—	2,40	2,79	3,43	3,69	4,27	
12Х18Н10Т; 12Х18Н12Т	1,66	2,53	3,14	3,40	3,93	4,81	5,16	5,90	
12Х1В2МФ (ЭИ756)	1,08	1,76	2,23	2,43	2,84	3,51	3,78	4,40	

Примечание. Значения  $\delta_t$  для промежуточных значений температур определяются линейной интерполяцией.

Для проведения этих расчетов в зависимости от типа машин был разработан ряд программ, к которым относятся Т-4, Т-5 и Т-10 для ЭВМ «Урал-2», Т-4М, Т-5М и Т-10МД для ЭВМ М-20, Т-20 и Т-24 для ЭВМ «Минск-22».

В настоящее время применяются программы Т-001, «Астра» и СТ-1 для ЭВМ ЕС-1022.

Последние три программы, а также программа Т-24 дают возможность при помощи ЭВМ произвести выбор пружин для пружинных (упругих) опор, определить нагрузки на них в рабочем и холодном состояниях, установить степени затяжек пружин при монтаже и осадку их в рабочем состоянии.

Для выполнения расчетов на ЭВМ заполняются специально составленные бланки задания установленной формы. Результаты расчета выдаются в табличной форме на широкой бумажной ленте с необходимыми текстовыми пояснениями.

На рис. 5.1 приведен график допускаемых амплитуд напряжений для элементов трубопровода, на рис. 5.2 — график коэффициента усреднения компенсационных напряжений для сталей различных марок, на

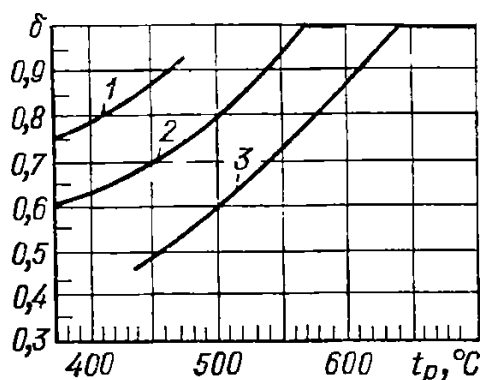


Рис. 5.3. График коэффициента релаксации компенсационных напряжений для сталей различных марок:

1 — для сталей марок 20, 16ГС, 16ГС; 2 — для сталей марок 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 15ХМ, 12МХ; 3 — для сталей марок 12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т

рис. 5.3 — график коэффициента релаксации\* компенсационных напряжений также для сталей различных марок. Эти величины используются для составления заданий и при анализе выполненных расчетов прочности стационарных трубопроводов на ЭВМ.

В настоящее время расчеты на ЭВМ производятся для трубопроводов высокого и повышенного давления, а также ответственных трубопроводов низкого давления.

В справочнике не приводятся данные ни по ручному расчету стационарных трубопроводов на прочность, ни по расчету с помощью ЭВМ, так как это специальные во-

\* Слово «релаксация» происходит от латинского слова relaxatio — ослабление, уменьшение. Релаксацией напряжения называют самопроизвольное снижение с течением времени напряжений вследствие перехода упругих деформаций в пластические.

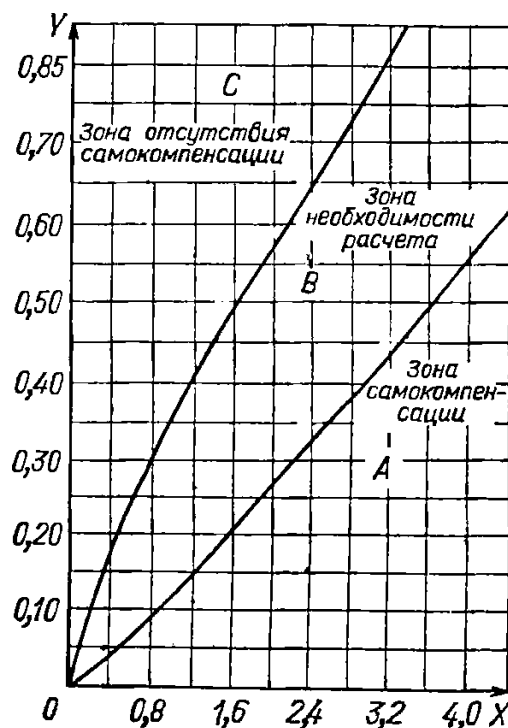


Рис. 5.4. График для приближенной оценки компенсирующей способности трубопровода

температура, °С									
360	400	425	450	500	510	540	570	585	600
4,66	5,20	5,65	6,09	6,98	—	—	—	—	—
4,74	5,36	5,76	6,16	6,95	—	—	—	—	—
4,80	5,39	5,78	6,17	6,96	—	—	—	—	—
5,72	6,48	6,87	7,27	—	—	—	—	—	—
4,62	5,16	5,52	5,88	6,60	6,75	7,20	—	—	—
4,87	5,48	5,86	6,24	7,00	7,16	7,63	8,11	8,34	8,58
4,55	5,12	5,49	5,86	6,60	6,76	7,24	7,71	7,95	8,19
4,62	5,20	5,59	5,98	6,75	6,90	7,34	7,78	8,00	8,22
4,67	5,26	5,66	6,06	6,85	7,00	7,47	7,94	8,17	8,40
4,80	5,46	5,81	6,16	6,86	7,00	7,68	7,86	8,08	8,29
4,88	5,48	5,86	6,24	7,00	7,18	7,73	8,27	8,55	8,82
4,56	5,14	5,48	5,82	6,50	6,66	7,14	7,62	7,85	8,10
6,26	7,00	7,50	8,00	9,00	9,19	9,77	10,34	10,63	10,92
4,70	5,32	5,71	6,09	6,86	7,01	7,50	7,93	8,17	8,40

просы с большим объемом материала. В каждой из программ для ЭВМ даны описание выполняемых машиной расчетов, формы бланков задания, примеры их оформления и анализа результатов выполненного расчета.

### 5.2. ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ КОМПЕНСИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ

Для оценки компенсирующей способности трубопроводов низкого давления (не ответственных), а также предварительно намечаемых трасс трубопроводов высокого давления (с обязательным последующим расчетом выбранной трассы на ЭВМ) воз-

можно применение приближенного метода расчета.

Для приближенной оценки компенсирующей способности трубопровода используется критериальный метод расчета с помощью графика, приведенного на рис. 5.4. Этот метод основан на вычислении критериальных параметров, определяемых условиями прочности металла и геометрическими размерами трубопровода.

Оценка компенсирующей способности простого трубопровода (без ответвлений) с двумя неподвижными опорами по его концам производится по двум безразмерным параметрам. Первый из них — геометрический — представляет собой отношение упругой длины трубопровода к расстоянию меж-

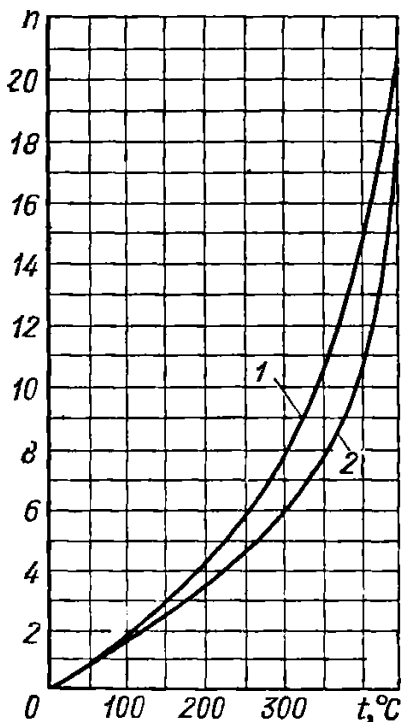


Рис. 5.5. Кривые зависимости приведенной температурной деформации стали от рабочей температуры:

1 — для сталей марок 3 и 10; 2 — для стали марки 20

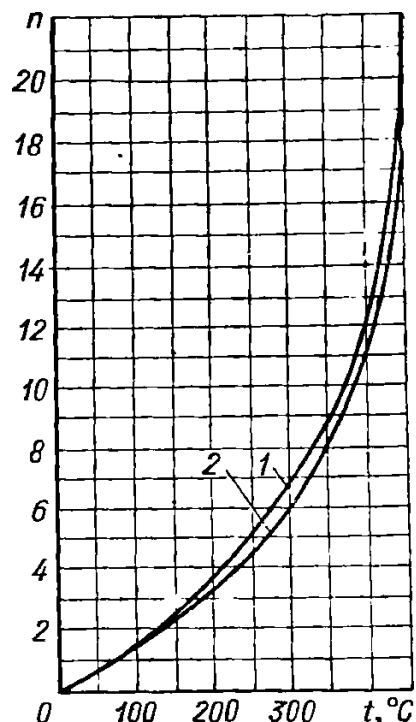


Рис. 5.6. Кривые зависимости приведенной температурной деформации стали от рабочей температуры:

1 — для сталей марок 16ГС и 09Г2С; 2 — для сталей марок 15ГС и 10Г2С1

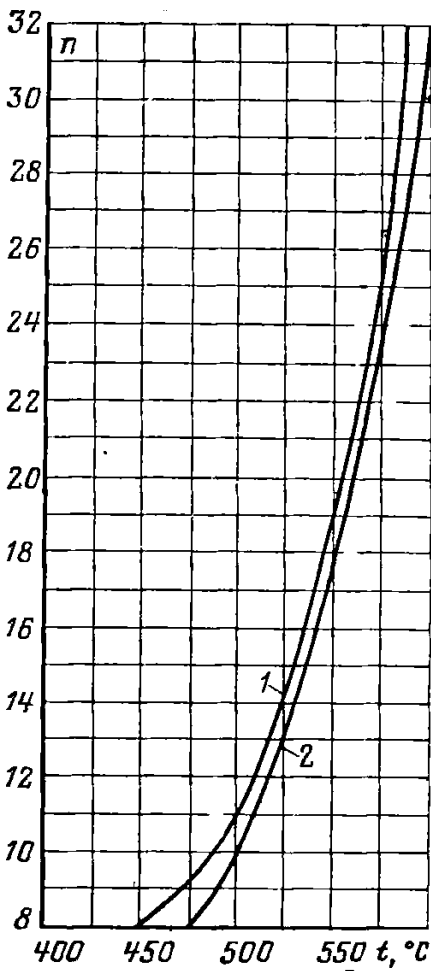


Рис. 5.7. Кривые зависимости приведенной температурной деформации стали от рабочей температуры:  
1 — для стали марки 12X1MΦ; 2 — для стали марки 15X1M1Φ

ду его неподвижными опорами, т. е.

$$X = \frac{L}{a} - 1. \quad (5.1)$$

Второй параметр является функцией приведенной температурной деформации, отнесенной к единице развернутой длины трубопровода:

$$Y = \frac{EatD_n}{\sigma_{ск}L}, \quad (5.2)$$

где  $E$  — модуль упругости металла трубы при расчетной температуре, кгс/см<sup>2</sup>;  $\sigma_{ск}$  — допускаемое напряжение самокомпенсации при расчетной температуре, кгс/см<sup>2</sup>;  $a$  — температурный коэффициент линейного расширения металла труб при тех же условиях, мм/(м·°C);  $t$  — расчетная температура стенки трубы, °C;  $L$  — развернутая длина трубопровода между неподвижными его опорами, м;  $D_n$  — наружный диаметр трубы, м;  $a$  — расстояние между неподвижными опорами, м.

Эквивалентное напряжение в трубах и трубопроводах от всех нагружающих факторов (внутреннего давления; весовых нагрузок и самокомпенсации тепловых расши-

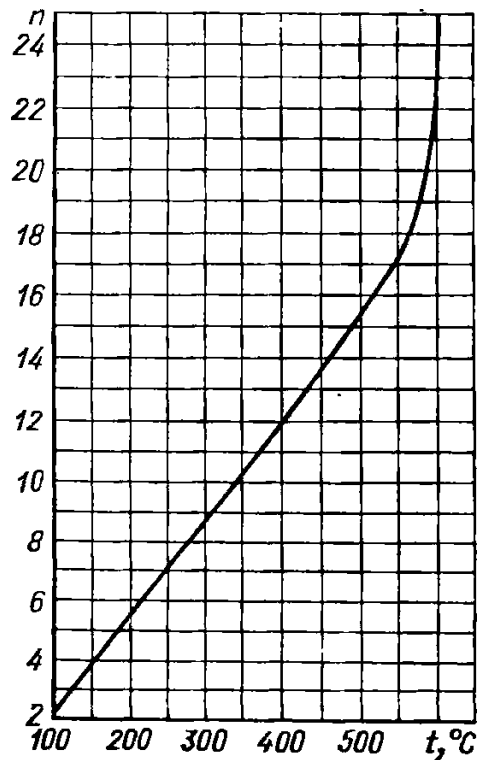


Рис. 5.8. Кривая зависимости приведенной температурной деформации стали от рабочей температуры для сталей марок 12X18H10T, 12X18H12T, 08X18H10T, 08X18H12T

рений) должно в соответствии с [4, с. 64] удовлетворять условию

$$\sigma_s^{в.ск} \leq 1,5 [\sigma].$$

Расчет по этому методу приближенно учитывает силы компенсации и вовсе не учитывает весовые нагрузки, поэтому рекомендуется в запас прочности принимать

$$\sigma_{ск} = [\sigma],$$

где  $[\sigma]$  — допускаемое напряжение, кгс/см<sup>2</sup> (см. табл. 3.5, 3.6 и 3.9).

Для упрощения расчетов из формулы (5.2) выделяется составляющая  $n$ , характеризующая прочность трубопровода [24]:

$$n = \frac{Eat}{[\sigma]}. \quad (5.3)$$

Эта величина для сталей различных марок зависит только от температуры  $n=f(t)$ . Ее значения в зависимости от температуры и марок сталей определяются с помощью кривых, изображенных на рис. 5.5 для сталей марок 3, 10 и 20, на рис. 5.6 для сталей марок 16ГС, 09Г2С, 15ГС и 10Г2С1, на рис. 5.7 для сталей марок 12X1MΦ и 15X1M1Φ, на рис. 5.8 для сталей марок 12X18H10T, 12X18H12T, 08X18H10T и 08X18H12T.

Подставляя (5.3) в формулу (5.2), получаем упрощенное выражение для второго критерияльного параметра:

$$Y = n \frac{D_n}{L}. \quad (5.4)$$

Использование формул (5.1), (5.4) и кривых на рис. 5.5—5.8 дает возможность оперировать отношениями линейных величин ( $L$ ,  $D_n$ ,  $a$ ), характеризующих конструкцию проверяемого участка трубопровода. Для вычисления расстояния  $a$  следует принять начало координат в точке неподвижного крепления трубопровода  $A$  (рис. 5.9), определив координаты неподвижной точки  $B$  —  $X_B$ ,  $Y_B$  и  $Z_B$ :

$$a = \sqrt{X_B^2 + Y_B^2 + Z_B^2}, \quad (5.5)$$

где согласно рис. 5.9  $X_B = (0-1) + (3-4)$ ,  $Y_B = (2-3)$  и  $Z_B = (1-2) - (4-5)$  — координаты точки  $B$ .

После вычисления параметров  $X$  и  $Y$  определяют при помощи графика на рис. 5.4 область, в которой располагается точка с координатами  $X$  и  $Y$ . В зависимости от зоны, в которой находится эта точка, оценивается компенсирующая способность трубопровода. Если точка попадает в зону  $A$  графика, то заданное температурное удлинение компенсируется трубопроводом. Если точка находится в зоне  $C$  графика, то температурное удлинение не компенсируется трубопроводом и, следовательно, трассу его необходимо изменить. Если точка располагается в зоне  $B$  графика, то требуется произвести подробный расчет на компенсацию. Для низкотемпературных трубопроводов при попадании расчетной точки в зону  $B$  или  $C$  необходимо точным расчетом определить максимальный размах напряжений и произвести оценку прочности по малоцикловой усталости при заданном цикле нагружений.

Встречаются случаи, когда заводом — изготовителем оборудования задаются возможно допустимые поступательные перемещения точки присоединения трубопровода к оборудованию. В этом случае для трубопровода, приведенного на рис. 5.9 (в предположении, что его точка  $B$  является такой точкой и имеет допускаемые перемещения  $\Delta_x$ ,  $\Delta_y$  и  $\Delta_z$ ), расстояние между неподвижными опорами  $a$  определится по формуле

$$a = \sqrt{\left(X_B - \frac{\Delta_x}{\delta_t}\right)^2 + \left(Y_B - \frac{\Delta_y}{\delta_t}\right)^2 + \left(Z_B - \frac{\Delta_z}{\delta_t}\right)^2}, \quad (5.6)$$

где  $\delta_t$  — расчетное температурное удлинение, см/м (см. § 5.1).

Смещения  $\Delta_x$ ,  $\Delta_y$  и  $\Delta_z$  считаются положительными, если они по направлению совпадают с направлением осей координат (с началом в точке  $A$ ). Если трубопровод соединяет два типа оборудования, то величины  $\Delta_x$ ,  $\Delta_y$ ,  $\Delta_z$  могут определяться как алгебраические суммы заданных заводами-изготовителями перемещений.

По графику на рис. 5.4 с использованием формулы (5.6) могут быть рассчитаны

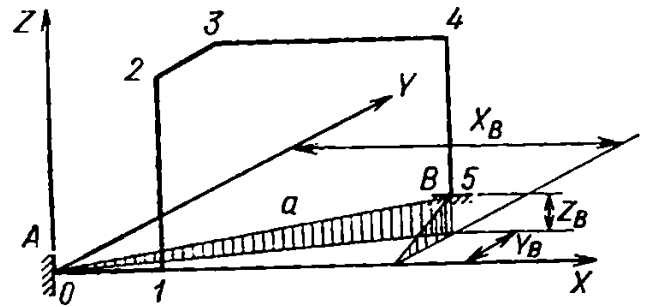


Рис. 5.9. Схема пространственного трубопровода

все ответвления разветвленного трубопровода. Для этого неподвижный конец ответвления должен быть назван точкой  $A$ , а узел присоединения к «стволу» — точкой  $B$ . В этом случае смещения точки  $B$  —  $\Delta_x$ ,  $\Delta_y$ ,  $\Delta_z$  — могут быть установлены приблизительно на основании рассмотрения в целом разветвленного трубопровода при его нагревании до рабочей температуры. При определении развернутой длины трубопровода радиус отводов условно принимается равным нулю. В связи с этим трубопровод рассматривается как состоящий из прямых отрезков (см. рис. 5.9). Возникающая при этом погрешность идет в запас прочности.

Если трубопровод имеет на каком-либо участке измененное поперечное сечение, то вместо действительной длины  $L$  участка при определении развернутой длины трубопровода вводится его приведенная длина:

$$L_{пр} = L \left(\frac{r_{ср}}{r'_{ср}}\right)^2 \frac{S}{S'}, \quad (5.7)$$

где  $r_{ср}$  и  $S$  — средний радиус и толщина стенки поперечного сечения основного участка;  $r'_{ср}$  и  $S'$  — средний радиус и толщина стенки поперечного сечения данного участка;

$$r_{ср} = 0,5(D_n - S) \text{ и } r'_{ср} = 0,5(D'_n - S'),$$

где  $D_n$  и  $D'_n$  — наружные диаметры поперечных сечений.

Развернутая длина трубопровода, приведенного на рис. 5.10 (принимаям радиус

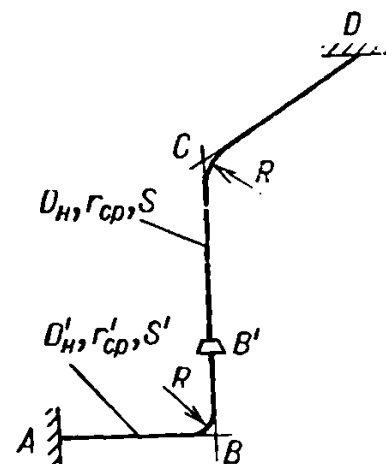


Рис. 5.10. Схема пространственного трубопровода с переходом на другой диаметр



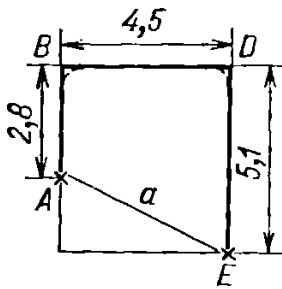


Рис. 5.11. Схема плоскостного трубопровода

гиба  $R=0$ ) будет равна:

$$L = (AB + BB') \times \left( \frac{r_{cp}}{r'_{cp}} \right)^3 \frac{\pi S}{S'} + B'C + CD.$$

**Пример 1.** Расчет плоскостного трубопровода, приведенного на рис. 5.11. Дано: номинальные размеры труб трубопровода —  $219 \times 6$  мм, материал труб — сталь марки 20, транспортируемая среда — пар давлением  $25 \text{ кгс/см}^2$ , расчетная температура  $340^\circ\text{C}$ ; длины участков трубопровода:  $AB=2,8$  м,  $BD=4,5$  м,  $DE=5,1$  м.

Расчет. 1) По кривой на рис. 5.5 для температуры  $340^\circ\text{C}$  и стали марки 20 находим значение  $n=7,7$ , соответствующее допускаемому напряжению металла; 2) определяем развернутую длину трубопровода  $L=2,8+4,5+5,1=12,4$  м; 3) находим расстояние между неподвижными опорами (точки A и E), которое равно:

$$a = \sqrt{4,5^2 + (5,1 - 2,8)^2} = 5,05 \text{ м};$$

4) определяем критериальные параметры по формулам (5.1) и (5.4), которые для этого случая будут равны:

$$X = \frac{L}{a} - 1 = \frac{12,4}{5,05} - 1 = 1,46 \text{ и}$$

$$Y = n \frac{D_n}{L} = 7,7 \frac{219}{12400} = 0,136;$$

5) по графику на рис. 5.4 находим точку с координатами  $X=1,46$  и  $Y=0,136$ . Эта

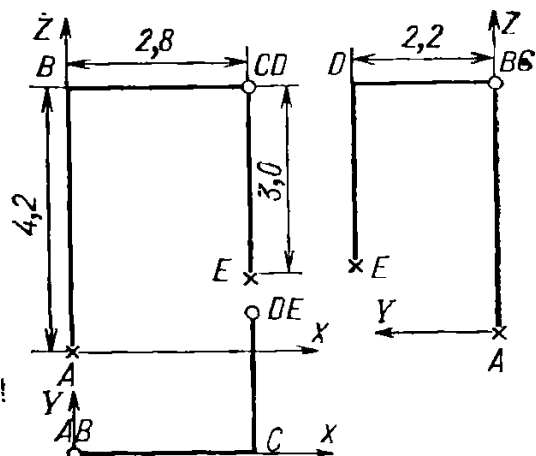


Рис. 5.12. Схема пространственного трубопровода

точка располагается в зоне A, следовательно, самокомпенсация трубопровода обеспечивается.

**Пример 2.** Расчет пространственного трубопровода, приведенного на рис. 5.12. Дано: исходные данные те же, что и в примере 1;  $AB=4,2$  м,  $BC=2,8$  м,  $CD=2,2$  м,  $DE=3,0$  м.

Расчет. 1) По кривой на рис. 5.5 находим значение  $n=7,7$ ; 2) развернутая длина трубопровода в этом случае будет равна:  $L=4,2+2,8+2,2+3,0=12,2$  м; 3) расстояние между неподвижными опорами составит:

$$a = \sqrt{2,8^2 + 2,2^2 + 1,2^2} = 3,75 \text{ м},$$

где проекции отрезков на оси координат равны:  $X_E=2,8$  м,  $Y_E=2,2$  м,  $Z_E=4,2-3,0=1,2$  м; 4) критериальные параметры трубопровода, определенные по формулам (5.1) и (5.4), будут равны:

$$X = \frac{L}{a} - 1 = \frac{12,2}{3,75} - 1 = 2,25;$$

$$Y = n \frac{D_n}{L} = 7,7 \frac{219}{12200} = 0,138;$$

5) точка с координатами  $X=2,25$  и  $Y=0,138$  по графику на рис. 5.4 расположена в зоне A, следовательно, самокомпенсация трубопровода и в этом примере обеспечивается.

### 5.3. САЛЬНИКОВЫЕ И ЛИНЗОВЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ

Для компенсации тепловых удлинений трубопроводов низкого давления применяются специальные устройства в виде сальниковых и линзовых компенсаторов.

*Сальниковые компенсаторы* устанавливаются в основном на трубопроводах паровых и водяных тепловых сетей с параметрами воды или пара до  $p_y \leq 25 \text{ кгс/см}^2$  при температуре воды до  $200^\circ\text{C}$  и пара до  $300^\circ\text{C}$ . Перечень нормалей и технические характеристики этих компенсаторов приведены в табл. 5.2 и 5.3. Эти компенсаторы допускаются устанавливать в районах с расчетной температурой наружного воздуха не ниже  $-40^\circ\text{C}$ . Сальниковые компенсаторы способны воспринимать значительные тепловые удлинения трубопроводов. Они выпускаются двух видов — односторонние (рис. 5.13,а), способные воспринимать удлинения от 200 до 600 мм, и двусторонние (рис. 5.13,б) с удвоенной компенсирующей способностью по сравнению с односторонними компенсаторами. Сальниковые компенсаторы имеют малые габариты. Однако существенным их недостатком является ненадежность работы в них сальникового уплотнения, что может приводить к образованию течей.

*Линзовые компенсаторы* воспринимают температурные удлинения значительно мень-

Таблица 5.2. Перечень нормалей сальниковых односторонних компенсаторов и их технические характеристики (нормали сер. 4.903-10, вып. 7, введенные Госстроем СССР 1.10.72 г.)

Нормаль	Условное давление $P_y$ , кгс/см <sup>2</sup>	Условный проход $D_y$ , мм	Компенсир. способность, мм	Расчетная сила трения $Q$ , тс
T1.01.00.000.СБ T1.02.00.000.СБ T1.03.00.000.СБ T1.04.00.000.СБ	Λ25	100	250	1,5
		125		1,8
		150		2,6
		175		3,1
T1.05.00.000.СБ T1.06.00.000.СБ		200	200 400	6,0
T1.07.00.000.СБ T1.08.00.000.СБ		250	200 400	7,5
T1.09.00.000.СБ T1.10.00.000.СБ		300	200 400	9,0
T1.11.00.000.СБ T1.12.00.000.СБ		350	200 400	10,5
T1.13.00.000.СБ T1.14.00.000.СБ		400	300 500	12,0
T1.15.00.000.СБ T1.16.00.000.СБ		450	300 500	13,5
T1.33.00.000.СБ T1.34.00.000.СБ		500	300 500	15,0
T1.35.00.000.СБ T1.36.00.000.СБ		600	300 500	18,0
T1.37.00.000.СБ T1.38.00.000.СБ		700	300 500	20,5
T1.39.00.000.СБ T1.40.00.000.СБ		800	300 500	23,0
T1.41.00.000.СБ T1.42.00.000.СБ		900	350 600	25,0
T1.43.00.000.СБ T1.44.00.000.СБ		1000	350 600	29,0
T1.45.00.000.СБ T1.46.00.000.СБ	1200	350 600	35,0	
T1.47.00.000.СБ T1.48.00.000.СБ	1400	350 600	40,0	
T1.17.00.000.СБ T1.18.00.000.СБ	Λ16	500	300 500	9,5
T1.19.00.000.СБ T1.20.00.000.СБ		600	300 500	11,5
T1.21.00.000.СБ T1.22.00.000.СБ		700	300 500	13,0
T1.23.00.000.СБ T1.24.00.000.СБ		800	300 500	15,0
T1.25.00.000.СБ T1.26.00.000.СБ		900	350 600	16,5
T1.27.00.000.СБ T1.28.00.000.СБ		1000	350 600	18,5
T1.29.00.000.СБ T1.30.00.000.СБ		1200	350 600	22,0
T1.31.00.000.СБ T1.32.00.000.СБ		1400	350 600	26,0

Примечание. При давлениях, отличных от приведенных в таблице, расчетные силы трения на неподвижные опоры следует пересчитывать по рабочему давлению  $P_{раб}$  пропорционально отношению  $P_{раб}/P_y$ .

Таблица 5.3. Перечень нормалей сальниковых двухсторонних компенсаторов и их технические характеристики (нормали сер. 4.903-10, вып. 7, введенные Госстроем СССР 1.10.72 г.)

Нормаль	Условное давление $P_y$ , кгс/см <sup>2</sup>	Условный проход $D_y$ , мм	Компенсир. способность, мм	Расчетная сила трения $Q$ , тс	
T1.51.00.000.СБ T1.52.00.000.СБ T1.53.00.000.СБ T1.54.00.000.СБ	Λ25	100	2×250	0,45	
		125		0,54	
		150		0,78	
		175		0,93	
T1.55.00.000.СБ T1.56.00.000.СБ		200	2×200 2×400	1,80	
T1.57.00.000.СБ T1.58.00.000.СБ		250	2×200 2×400	2,25	
T1.59.00.000.СБ T1.60.00.000.СБ		300	2×200 2×400	2,70	
T1.61.00.000.СБ T1.62.00.000.СБ		350	2×200 2×400	3,15	
T1.63.00.000.СБ T1.64.00.000.СБ		400	2×300 2×500	3,60	
T1.65.00.000.СБ T1.66.00.000.СБ		450	2×300 2×500	4,05	
T1.75.00.000.СБ T1.76.00.000.СБ		500	2×300 2×500	4,50	
T1.77.00.000.СБ T1.78.00.000.СБ		600	2×300 2×500	5,40	
T1.79.00.000.СБ T1.80.00.000.СБ		700	2×300 2×500	6,15	
T1.81.00.000.СБ T1.82.00.000.СБ		800	2×300 2×500	6,90	
T1.67.00.000.СБ T1.68.00.000.СБ		Λ16	500	2×300 2×500	2,85
T1.69.00.000.СБ T1.70.00.000.СБ			600	2×300 2×500	3,45
T1.71.00.000.СБ T1.72.00.000.СБ	700		2×300 2×500	3,90	
T1.73.00.000.СБ T1.74.00.000.СБ	800		2×300 2×500	4,50	

Примечание. При давлениях, отличных от приведенных в таблице, расчетные силы трения на неподвижные опоры следует пересчитывать по рабочему давлению  $P_{раб}$  пропорционально отношению  $P_{раб}/P_y$ .

шие, чем сальниковые, но обеспечивают при этом полную герметичность, чем выгодно отличаются от сальниковых. Линзовые компенсаторы могут устанавливаться на трубопроводах с  $P_y \leq 16$  кгс/см<sup>2</sup> и температурой до 300 °С и не только воспринимать осевые перемещения (осевые компенсаторы), но и работать на изгиб (шарнирные компенсаторы). Эти компенсаторы изготавливаются одно-, двух-, трех- и четырехлинзовыми, со стаканом (цилиндрическая вставка) и без него, с дренажной трубкой на каждой линзе и без нее. Компенсирующую способность этих компенсаторов определяет количество его линз. Если компенсатор воспринимает только осевое перемещение, его устанавливают со

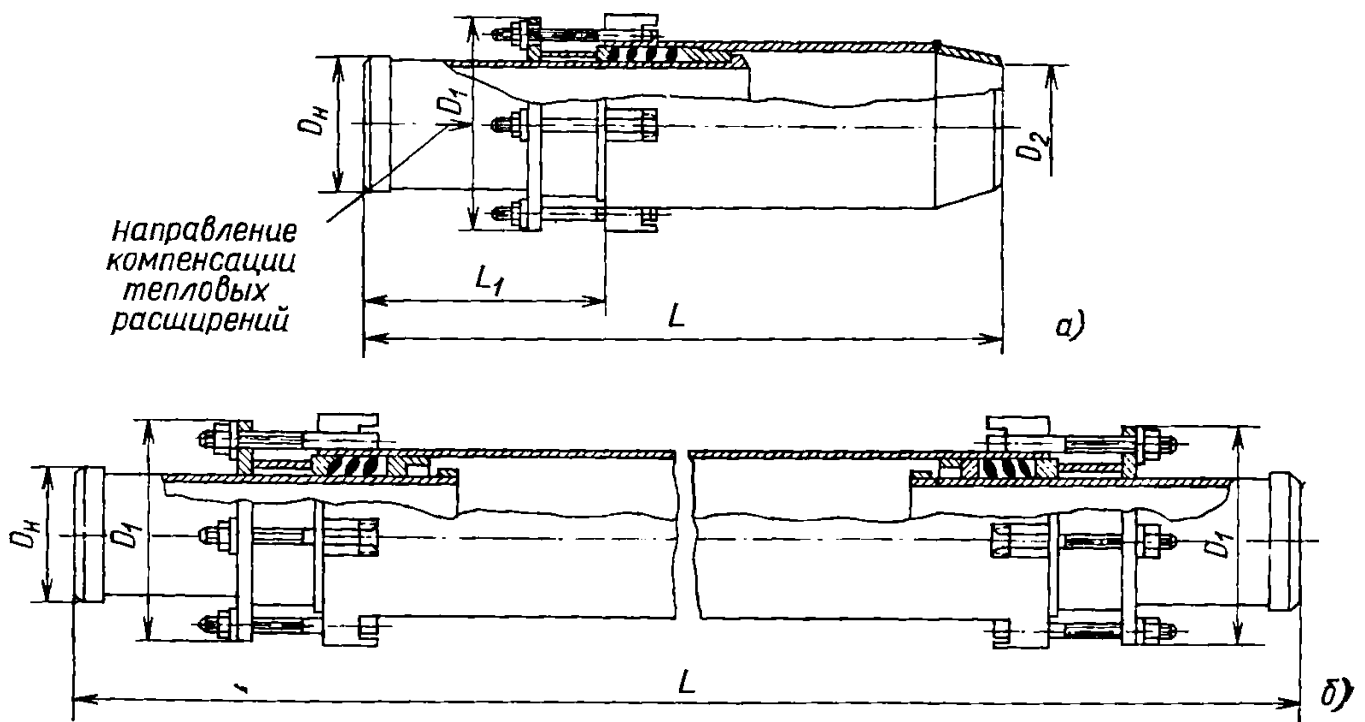


Рис. 5.13. Типы сальниковых компенсаторов:  
**а** — односторонний сальниковый компенсатор; **б** — двусторонний сальниковый компенсатор

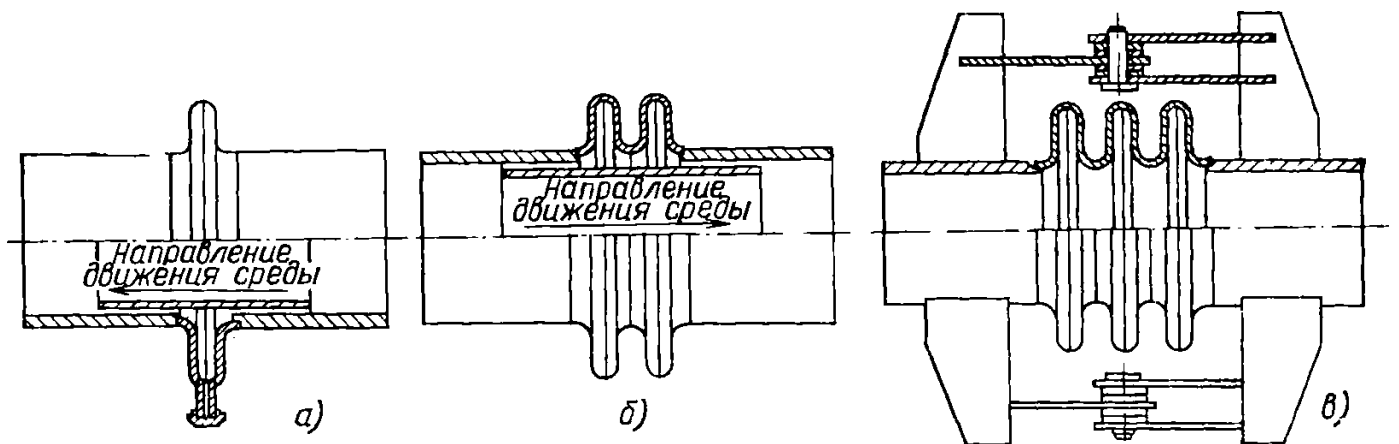


Рис. 5.14. Типы линзовых компенсаторов:  
**а** — осевой однолинзовый компенсатор со спускным штуцером; **б** — осевой двухлинзовый компенсатор без спускного штуцера (для вертикальных стояков); **в** — шарнирный трехлинзовый компенсатор

стаканом, который уменьшает гидравлическое сопротивление компенсатора и приваривается к трубе со стороны входа среды. Если компенсатор должен работать и на изгиб, то используют компенсатор без стакана. В случае установки компенсатора на горизонтальном участке трубопровода выбирают компенсатор с дренажными трубками на линзах, если на вертикальном, то без них. Типы линзовых компенсаторов приведены на рис. 5.14.

Осевые линзовые компенсаторы устанавливаются на прямых участках трубопроводов. Шарнирные линзовые компенсаторы устанавливаются на участках, имею-

щих ломаную трассу, где они используются в качестве шарниров. Для восприятия осевых сил гидравлического распора в шарнирных компенсаторах концы труб, между которыми установлен линзовый шарнирный компенсатор, соединяются между собой короткими стяжками, допускающими поворот в плоскости, перпендикулярной плоскости стяжек (рис. 5.14,в).

Схемы, в которых линзовые компенсаторы работают в качестве упругих шарниров, имеют ряд преимуществ: отсутствует сила распора на оборудование и строительные конструкции, достигается полная компенсация тепловых удлинений.

Таблица 5.4. Перечень ОСТ на осевые линзовые компенсаторы и область их применения

ОСТ	Условное давление $P_y$ , кг/см <sup>2</sup>	Условный проход $D_y$ , мм	Компенсирующая способность $\Delta$ , мм
<i>Компенсаторы осевые одноклинзовые</i>			
ОСТ 34-42-325-77	6	100—350	3—3,5
ОСТ 34-42-309-76		1600—2200 400—1400	4
ОСТ 34-42-325-77 ОСТ 34-42-309-76	10	100—350	2,5
		400—600	3
ОСТ 34-42-325-77 ОСТ 34-42-309-76	16	100—350	2
		400—600	2,5
ОСТ 34-42-309-76	10—16	700—1400	2,5
<i>Компенсаторы осевые двухлинзовые</i>			
ОСТ 34-42-326-77	6	100—350	6—7
ОСТ 34-42-310-76		1600—2200 400—1400	8
ОСТ 34-42-326-77 ОСТ 34-42-310-76	10	100—350	5
		400—600	6
ОСТ 34-42-326-77 ОСТ 34-42-310-76	16	100—350	4
		400—600	5
ОСТ 34-42-310-76	10—16	700—1400	5
<i>Компенсаторы осевые трехлинзовые</i>			
ОСТ 34-42-327-77	6	100—350	9—10,5
ОСТ 34-42-311-76		1600—2200 400—1400	12
ОСТ 34-42-327-77 ОСТ 34-42-311-76	10	100—350	7,5
		400—600	9
ОСТ 34-42-327-77 ОСТ 34-42-311-76	16	100—350	6
		400—600	7,5
ОСТ 34-42-311-76	10—16	700—1400	7,5
<i>Компенсаторы осевые четырехлинзовые</i>			
ОСТ 34-42-328-77	6	100—350	12—14
ОСТ 34-42-312-76		1600—2200 400—1400	16
ОСТ 34-42-328-77 ОСТ 34-42-312-76	10	100—350	10
		400—600	12
ОСТ 34-42-328-77 ОСТ 34-42-312-76	16	100—350	8
		400—600	10
ОСТ 34-42-312-76	10—16	700—1400	10

Расчет шарнирных схем заключается в определении возникающих углов поворота и необходимого количества линз.

Линзовые компенсаторы стандартизованы. Перечень и область применения линзовых компенсаторов по разработанным на них ОСТ приведены в табл. 5.4 и 5.5.

Линзовые компенсаторы работают в упругоэластичной области, и срок их службы определяется выносливостью при ограниченном числе циклов нагружения. Под циклом нагружения трубопровода понимается периодически повторяющийся режим его работы, включающий нагрев, эксплуатацию при постоянной температуре и отключение с полным охлаждением. Следовательно, количество циклов нагружения трубопровода равно числу включений его

Таблица 5.5. Перечень ОСТ на шарнирные линзовые компенсаторы и область их применения

ОСТ	Условное давление $P_y$ , кг/см <sup>2</sup>	Условный проход $D_y$ , мм	Допускаемый угол изгиба компенсатора $\gamma$ , град
<i>Компенсаторы шарнирные одноклинзовые</i>			
ОСТ 34-42-329-77	6	100—350	1°48'—0°52'
ОСТ 34-42-313-76		1600—2200 400—1400	0°15'—0°11' 0°48'—0°17'
ОСТ 34-42-329-77 ОСТ 34-42-313-76	10	100—350	1°19'—0°39'
		400—1400	0°36'—0°13'
ОСТ 34-42-329-77 ОСТ 34-42-313-76	16	100—350	1°04'—0°31'
		400—1400	0°28'—0°09'
<i>Компенсаторы шарнирные двухлинзовые</i>			
ОСТ 34-42-330-77	6	100—350	3°36'—1°44'
ОСТ 34-42-314-76		1600—2200 400—1400	0°30'—0,22' 1°36'—0°34'
ОСТ 34-42-330-77 ОСТ 34-42-314-76	10	100—350	2°38'—1°18'
		400—1400	1°12'—0°26'
ОСТ 34-42-330-77 ОСТ 34-42-314-76	16	100—350	2°08'—1°02'
		400—1400	0°56'—0°18'
<i>Компенсаторы шарнирные трехлинзовые</i>			
ОСТ 34-42-331-77	6	100—30	5°24'—2°36'
ОСТ 34-42-315-76		1600—2200 400—1400	0°45'—0°33' 2°24'—0°51'
ОСТ 34-42-331-77 ОСТ 34-42-315-76	10	100—350	3°57'—1°57'
		400—1400	1°48'—0°39'
ОСТ 34-42-331-77 ОСТ 34-42-315-76	16	100—350	3°12'—1°33'
		400—1400	1°24'—0°27'
<i>Компенсаторы шарнирные четырехлинзовые</i>			
ОСТ 34-42-332-77	6	100—350	7°12'—3°28'
ОСТ 34-42-316-76		1600—2200 400—1400	1°00'—0°44' 3°12'—1°08'
ОСТ 34-42-332-77 ОСТ 34-42-316-76	10	100—350	5°16'—2°36'
		400—1400	2°24'—0°52'
ОСТ 34-42-332-77 ОСТ 34-42-316-76	16	100—350	4°16'—2°04'
		400—1400	1°52'—0°31'

в работу из холодного состояния или числа отключений его на длительное время [5, с. 33].

Выбор числа циклов нагружения для трубопроводов производится по режиму работы основного оборудования (котлов), например:

1) трубопроводы энергетических установок, предназначенные для ежедневных пусков, могут в течение 30 лет отключаться до 11 000 раз;

2) трубопроводы теплофикационных установок при использовании электрической мощности в неотапливаемый период для покрытия пиковой нагрузки могут иметь до 150—200 остановов в год и должны рассчитываться на 4500—6000 циклов;

3) трубопроводы мощных конденсационных блоков, предназначенных для покрытия базисной нагрузки, в первые годы эксплуатации будут иметь незначительное число остановов, однако в последующие годы по мере вступления в работу блоков еще большей мощности могут переходить на режим работы с остановами на выход-

ные дни, а в отдельные месяцы и сезоны — на работу с ежедневными остановами на ночь. Для таких установок расчетное число циклов должно приниматься не менее 3000 за срок службы;

4) паропроводы для отпуска пара промышленности и теплофикационные водоводы имеют в течение срока службы (30 лет) не более нескольких сотен отключений и могут рассчитываться на 1500 циклов.

Для трубопроводов с рабочей температурой 150—200 °С число циклов нагружения следует принимать с запасом (с превышением над ожидаемым действительным значением) не менее 50%, а при более высокой температуре — с запасом не менее 100%. Если наружный диаметр труб трубопровода больше 500 мм, то расчетное число циклов нагружения для него рекомендуется принимать с добавочным увеличением, составляющим 50% действительного числа циклов (для трубопроводов с любой рабочей температурой). Если расчетное число циклов нагружения трубопровода меньше 3000, то значение допустимой амплитуды напряжений  $[\sigma_a]$  принимается при 3000 циклах [5].

Компенсирующая способность приведенных в ОСТ компенсаторов (допускаемое значение сжатия  $\Delta$  для осевых компенсаторов и допускаемое значение угла поворота  $\gamma$  для шарнирных компенсаторов) соответствует рабочей температуре 300 °С и числу циклов нагружения за весь период их эксплуатации 3000.

При определении усилия гидравлического распора линзовых компенсаторов с использованием табличных данных ОСТ следует учитывать, что эти данные определены при внутреннем давлении, равном  $p_y$ , поэтому при определении гидравлического распора в рабочем состоянии и при гидронспытании следует приведенные в ОСТ табличные значения умножать соответственно на коэффициенты  $p_{\text{раб}}/p_y$  и  $p_r/p_y$ , где  $p_{\text{раб}}$  и  $p_r$  — давления в рабочем состоянии и при гидравлическом испытании.

Если значения величин, характеризующих условия нагружения компенсатора (число циклов нагружения  $N$ , сжатие  $\Delta$

или угол поворота  $\gamma$ ) совпадают или несколько ниже значений, указанных в ОСТ, то компенсатор можно выбирать непосредственно по его таблицам. При существенном отличии параметров рабочей среды трубопровода или числа циклов нагружения  $N$  от значений, принятых в ОСТ, рекомендуется предварительно определить необходимое число линз расчетом.

**Осевые линзовые компенсаторы.** Количество линз осевого компенсатора определяется по следующей формуле:

$$n = \frac{a_{\Delta} \Delta}{2 [\sigma_a] - a_d p_y}, \quad (5.8)$$

где  $\Delta$  — сжатие компенсатора вследствие восприятия теплового расширения трубопровода, см;  $p_y$  — условное давление, определяемое по ГОСТ 356-80 по заданным значениям рабочих параметров среды ( $p_{\text{раб}}$  и  $t$ ), кгс/см<sup>2</sup>;  $[\sigma_a]$  — допустимая амплитуда напряжения (график на рис. 5.15), кгс/см<sup>2</sup>;  $a_{\Delta}$ ,  $a_d$  — коэффициенты влияния, выбираемые по табл. 5.6 в зависимости от размеров условного прохода  $D_y$  и условного давления  $p_y$ .

Полученное значение  $n$  округляется в большую сторону до целого числа. По заданным  $D_y$  и  $p_y$  и полученному значению  $n$  подбирается компенсатор по соответствующим таблицам ОСТ.

В случае очень малого рабочего давления рекомендуется в дополнение к предыдущему расчету выполнить расчет по определению числа линз по допускаемому распорному усилию, при этом используется формула

$$n = \frac{\Delta - \Delta_{\text{м.р}}}{\frac{p_{\text{доп}}}{K_{\text{сж}}} - \frac{p_{\text{раб}}}{K_d}}, \quad (5.9)$$

где  $p_{\text{доп}}$  — допускаемое распорное усилие (не может быть меньше гидравлического распора с учетом заглушки при рабочем давлении), кгс/см<sup>2</sup>;  $\Delta_{\text{м.р}}$  — монтажная растяжка компенсатора (см. § 5.4), см;  $K_{\text{сж}}$  — жесткость линзы на сжатие, кгс/см;  $K_d$  — жесткость линзы на растяжение давлением, (кгс/см) см<sup>-1</sup>;  $\Delta$  — тепловое удлинение, для компенсации которого выбирается компенсатор, см.

Значения величин  $K_{\text{сж}}$  и  $K_d$  выбирают по табл. 5.6 в зависимости от заданных  $D_y$  и  $p_y$ . При отсутствии монтажной растяжки  $\Delta_{\text{м.р}} = 0$ . Значение  $n$  округляется в сторону увеличения до целого числа, и по наибольшему из полученных по формулам (5.8) и (5.9) значений  $n$  подбирается осевой линзовый компенсатор в соответствии с действующими ОСТ.

Для исключения изгиба осевого линзового компенсатора на расстоянии не более 2—3  $D_y$  от него следует устанавливать направляющую опору. Расстояние от этой опоры до ближайшей следующей направляющей опоры должно быть на 30—40% меньше расстояния, принимаемого для дан-

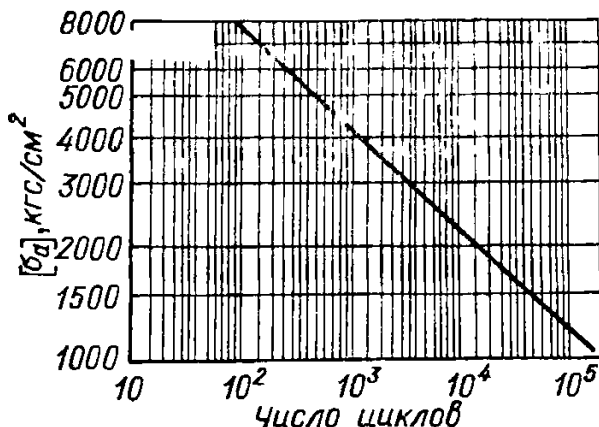


Рис. 5.15. График допустимых амплитуд напряжений для линзовых компенсаторов

Таблица 5.6. Жесткость и коэффициенты влияния для одной линзы компенсатора

Условный проход $D_y$ , мм	Условное давление $p_y$ , кгс/см <sup>2</sup>	Жесткость			Коэффициенты влияния		
		на сжатие силой $K_{сж}$ , кгс/см	на растяжение давлением с учетом давления на заглушку $K_D$ , (кгс/см <sup>2</sup> ) см <sup>-1</sup>	на изгиб $K_{изг}$ , кгс·см·град <sup>-1</sup>	$a_D$ , (кгс/см <sup>2</sup> ) см <sup>-1</sup>	$a_D'$ , кгс/см <sup>2</sup> / кгс/см <sup>2</sup>	$a_\gamma$ , (кгс/см <sup>2</sup> ) × град <sup>-1</sup>
100	6	1285	5,12	790	10 015	374	1760
125		1460	4,47	1210	9790	369	1945
150		1645	3,96	1780	9615	365	2140
200		2170	3,14	3670	9345	359	2585
250		2460	2,65	6210	9195	356	2985
300		2340	2,31	9550	9090	354	3370
350		3215	2,04	13 900	9015	352	3755
400		3570	1,84	19 100	8960	355	4120
450		3950	1,67	25 500	8910	350	4500
500		4330	1,53	33 900	8870	360	4890
600		5060	1,31	53 900	8810	349	5630
700		5710	1,16	77 700	8770	364	6290
800		6440	1,03	111 000	8740	373	7040
900		7170	0,93	153 000	8710	347	7780
1000		7900	0,85	205 000	8690	400	8510
1200		16 500	1,26	598 000	10 520	250	12 150
1400		19 000	1,09	922 000	10 500	240	13 950
1600		21 600	0,96	1 345 230	10 470	240	15 750
1800	24 170	0,86	1 884 510	10 460	240	17 550	
2000	26 990	0,77	2 622 360	10 440	250	19 530	
2200	29 540	0,70	3 440 170	10 420	260	21 310	
100	10	2255	8,98	1390	12 170	257	2140
125		2565	7,86	2135	11 895	254	2365
150		2890	6,96	3130	11 685	251	2600
200		3640	5,51	6455	11 360	247	3140
250		4325	4,65	10 920	11 180	245	3630
300		4990	4,05	16 790	11 050	243	4100
350		5650	3,58	24 450	10 960	242	4565
400		6270	3,24	33 500	10 890	240	5010
450		6940	2,93	45 300	10 830	242	5470
500		7600	2,68	59 600	10 790	243	5940
600		8800	2,30	94 900	10 710	243	6840
700		24 630	5,01	335 480	14 610	131	10 480
800		27 780	4,45	480 400	14 550	131	11 710
900		30 930	4,01	661 890	14 500	130	12 945
1000		34 080	3,64	884 230	14 470	131	14 180
1200		40 380	3,08	1 467 530	14 410	129	16 640
1400		46 690	2,67	2 263 600	14 375	130	19 110
100		16	5520	22,00	3440	16 645	143
125	6275		19,20	5260	16 270	141	3235
150	7070		17,00	7708	15 985	139	3560
200	8920		13,50	15 885	15 545	137	4300
250	10 600		11,40	26 850	15 300	135	4965
300	12 220		9,92	41 270	15 130	135	5610
350	13 845		8,78	60 075	15 000	134	6250
400	15 400		7,93	82 300	14 910	133	6850
450	17 000		7,19	111 000	14 830	133	7490
500	18 600		6,57	146 300	14 770	134	8140
600	21 800		5,65	233 000	14 670	130	9370
700	24 600		5,01	335 000	14 600	131	10 480
800	27 800		4,46	480 000	14 550	130	11 710
900	30 900		4,01	662 000	14 510	131	12 950
1000	34 100		3,65	884 000	14 470	130	14 180
1200	40 400		3,09	1 470 000	14 410	140	16 610
1400	46 700		2,68	2 260 000	14 380	150	19 110

Примечания: 1. Коэффициент влияния  $a_D$  — это максимальное напряжение от сжатия линзы на величину  $\Delta_1=1$  см; коэффициент влияния  $a_\gamma$  — то же от изгиба линзы на угол  $\gamma_1=1^\circ$ . Коэффициент влияния  $a_D'$  равен  $a_D=(a_D/K_D)-a_p$ , где  $a_p$  — максимальное напряжение от внутреннего давления  $p=1$  кгс/см<sup>2</sup>.

ного диаметра ( $D_y$ ) согласно табл. 6.2. В случае установки на прямом участке трубопровода двух линзовых компенсаторов для обеспечения равномерного их нагружения рекомендуется между ними размещать неподвижную опору, при этом целесообразно устанавливать компенсатор вблизи этой опоры, что исключит необхо-

2. Таблица составлена для компенсаторов с  $D_y=400 \div 1400$  мм по табл. 1 введения к ОСТ 34-42-309-76—ОСТ 34-42-317-76; для компенсаторов с  $D_y=100 \div 350$  мм и  $D_y=1600 \div 2200$  мм — по аналогичной таблице к ОСТ 34-42-325-77—ОСТ 34-42-332-77.

димось установки около компенсаторов второй направляющей опоры. Смежные участки трубопровода с линзовыми компенсаторами рекомендуется выполнять симметричными относительно разделяющей их неподвижной опоры, так как при этом действующие на эту опору осевые нагрузки взаимно уравновешиваются. Осевые силы

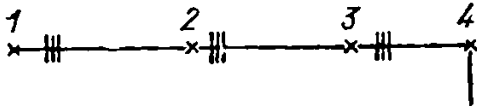


Рис. 5.16. Схема трубопровода с установкой линзовых компенсаторов

при установке линзовых компенсаторов (силы распора) возникают как в рабочем состоянии трубопровода, так и при его гидравлическом испытании в холодном состоянии. За расчетную силу следует принимать наибольшую из этих двух сил.

Распорное усилие  $R$ , кгс, действующее на концевые опоры 1 и 4 трубопровода (рис. 5.16), с учетом давления на заглушку трубы определяется по формуле

$$R = \frac{\Delta K_{сж}}{n} + p \frac{K_{сж}}{K_d}, \quad (5.10)$$

где  $\Delta$  — тепловое удлинение участка трубопровода, на котором установлен компенсатор ( $\delta \cdot l$ ), см;  $l$  — расстояние между неподвижными опорами, см;  $K_{сж}$  — жесткость линзы на сжатие (см. табл. 5.6), кгс/см;  $n$  — количество линз компенсатора;  $p$  — рабочее давление в трубопроводе, кгс/см<sup>2</sup>;  $K_d$  — жесткость линзы на растяжение давлением, (кгс/см<sup>2</sup>) см<sup>-1</sup> (см. табл. 5.6).

Первое слагаемое формулы (5.10) представляет собой силу, вызванную осевой упругой деформацией компенсатора. Второе слагаемое — это сила распора компенсатора, вызванная внутренним давлением и силой давления на заглушку.

Распорные усилия, действующие на опору 2 со стороны участков 1-2 и 2-3 и на опору 3 со стороны участков 2-3 и 3-4 трубопровода (рис. 5.16), должны определяться без учета силы давления на заглушку трубы по формуле

$$R = \frac{\Delta K_{сж}}{n} + p \left( \frac{K_{сж}}{K_d} - \frac{\pi D_b^2}{4} \right),$$

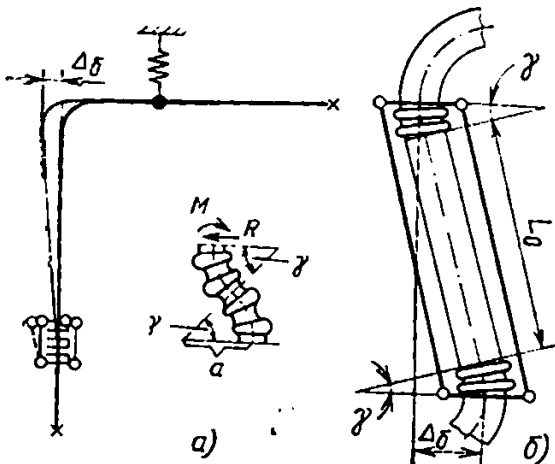


Рис. 5.17. Схема установки и работы шарнирного линзового компенсатора:

а — деформирование компенсатора со стяжками; б — деформирование сдвоенного компенсатора со стяжками

где  $D_b$  — внутренний диаметр трубопровода, см; остальные обозначения те же, что и к формуле (5.10).

Неподвижные опоры, ближайшие к заглушкам, поворотам трассы трубопровода и задвижкам, являются концевыми опорами и должны быть рассчитаны на восприятие полной силы распора.

Для уменьшения распорных усилий применяют монтажную растяжку. Если зазор под монтажную растяжку трубопровода (его участка) равен  $\Delta_{м.р.}$ , то при расчете распорного усилия в рабочем состоянии следует принимать вместо температурного удлинения  $\Delta$  величину  $\Delta - \Delta_{м.р.}$ .

Распорные усилия, воспринимаемые стяжками компенсаторов, испытывающих только осевое сжатие и установленные на участке трубопровода с заглушками, следует определять по формуле (5.10), причем за длину  $l$  при определении  $\Delta$  следует принимать рабочую длину стяжки, а за температуру нагрева  $t_n$  — разность температур нагрева трубопровода и стяжки.

Если компенсатор со стяжками воспринимает боковое смещение  $\Delta_b$  (рис. 5.17.а), то угол поворота среднего поперечного сечения компенсатора  $\gamma$ , рад, учитывая, что он мал, можно определить по формуле

$$\gamma = \frac{2\Delta_b}{n l_l},$$

при этом изгибающий момент, кгс·см, на торце компенсатора будет равен:

$$M = 57,4 K_{изг} \frac{2\gamma}{n} = 57,4 K_{изг} \frac{4\Delta_b}{n^2 l_l}.$$

а сдвигающая сила  $R$ , кгс, на том же торце

$$R = \frac{2M}{n l_l} = 57,4 K_{изг} \frac{8\Delta_b}{n^3 l_l^2},$$

где  $\Delta_b$  — боковое смещение компенсатора, см;  $n$  — число линз в компенсаторе;  $l_l$  — высота (по оси) одной линзы, см;  $K_{изг}$  — жесткость компенсатора на изгиб (см. табл. 5.6), кгс·см/град.

Реакции в концевых неподвижных опорах, соответствующие силе  $R$  и моменту  $M$ , определяются по условиям статического равновесия.

Из-за наклона стяжек, обусловленного боковым смещением  $\Delta_b$ , возникает дополнительная горизонтальная сила  $R_1$ , кгс, препятствующая боковому смещению (сила трения в шарнирных сочленениях компенсатора, вызывающая также сопротивление смещению, не учитывается), которая подсчитывается по формуле

$$R_1 = Q \Delta_b / n l_l,$$

где  $Q$  — осевое распорное усилие, воспринимаемое стяжками.

Для случая сдвоенного компенсатора со стяжками (см. рис. 5.17.б) угол поворота среднего поперечного сечения компенсато-

ра  $\gamma$ , рад, определяется по формуле

$$\gamma = \frac{2\Delta_6}{(nl_{л} + 2L_0)}$$

Изгибающий момент  $M$ , кгс·см, на торце компенсатора

$$M = \frac{57,4K_{изг}4\Delta_6}{n^2l_{л} + 2L_0n}$$

Сдвигающая сила  $R$ , кгс, на том же торце

$$R = \frac{57,4K_{изг}8\Delta_6}{(n^2l_{л} + 2L_0n)(L_0 + nl_{л})}$$

Сила сопротивления от осевого распора, обусловленная наклоном стяжек

$$R_1 = Q\Delta_6 / (L_0 + nl_{л}),$$

где  $L_0$  — длина трубы между компенсаторами.

Из приведенных формул видно, что при увеличении длины участка трубопровода между компенсаторами значительно снижаются усилия, передающиеся на неподвижные опоры. Для уменьшения распорных нагрузок в компенсаторах, воспринимающих боковое смещение, также применяют монтажную растяжку трубопровода.

Осевые силы, возникающие при установке осевых линзовых компенсаторов, в особенности при больших диаметрах трубопроводов, могут достигать 25 тс и более. Для уменьшения этих сил, передаваемых на конструкции здания, площадки или оборудование, предусматриваются специальные стяжные устройства. Однако они не полностью разгружают крепления от передачи осевых сил на конструкции. Кроме того, стяжное устройство также имеет некоторое температурное удлинение под воздействием теплоты трубопровода. Таким образом, при применении стяжных устройств, соединяющих концы трубопровода, нельзя обеспечить неизменность положения его концов. Если предположить, что тепловое удлинение стяжного устройства составит 10% удлинения трубопровода, то изменение его длины  $\Delta_{ст}$ , мм, может быть определено по формуле

$$\Delta_{ст} = \left( \frac{\sigma' - \sigma''}{E \cdot 10^{-5}} + 0,1\Delta \right) L,$$

где  $\sigma'$  — напряжение в стяжке при рабочем состоянии трубопровода, кгс/мм<sup>2</sup>;  $\sigma''$  — то же при холодном состоянии трубопровода, кгс/мм<sup>2</sup>;  $E$  — модуль упругости, кгс/см<sup>2</sup>;  $\Delta$  — тепловое удлинение трубопровода, см/м;  $L$  — длина стяжек, м.

Стяжную конструкцию выполняют обычно как опорно-стяжную, рассчитанную на передачу растягивающих сил от работающего трубопровода, сжимающих сил от трубопровода без давления и в то же время на восприятие весовых нагрузок от трубопровода. В связи с внецентровым приложением растягивающих и сжимающих сил балки стяжного устройства должны быть

рассчитаны и на действие изгибающих моментов от этих сил. Опорно-стяжную конструкцию крепят неподвижно к зданию в одной точке. При наличии двух или более неподвижных креплений опорно-стяжную конструкцию выполняют разрезной для обеспечения возможности удлинения ее балок. Напряжение растяжения в стяжных устройствах прямых трубопроводов следует принимать не более 3—5 кгс/мм<sup>2</sup>, чтобы избежать значительных упругих удлинений.

Пример расчета трубопровода с осевыми линзовыми компенсаторами и его опорно-стяжной конструкции приведен в [16, с. 171].

*Шарнирные линзовые компенсаторы.* Количество линз шарнирного компенсатора определяется по формуле

$$n = \frac{a_{\gamma}\gamma}{2[\sigma_a] - a_d p_{\gamma}}, \quad (5.11)$$

где  $\gamma$  — угол поворота компенсатора, град;  $p_{\gamma}$  — условное давление, определяемое по ГОСТ 356-80 в зависимости от значений рабочих параметров среды  $p_{раб}$  и  $t$ , кгс/см<sup>2</sup>;  $[\sigma_a]$  — допускаемая амплитуда напряжений (см. рис. 5.15), кгс/см<sup>2</sup>;  $a_{\gamma}$  и  $a_d$  — коэффициенты влияния, выбираемые по табл. 5.6 в зависимости от заданных  $D_{\gamma}$  и  $p_{\gamma}$ .

Полученное значение  $n$  округляется в большую сторону до целого числа. По заданным  $D_{\gamma}$  и  $p_{\gamma}$  и полученному значению  $n$  подбирается шарнирный компенсатор по соответствующим ОСТ на них.

Когда на изгибающий момент, возникающий в компенсаторе, накладывается определенное ограничение, в дополнение к вышеприведенному расчету рекомендуется определять число линз по формуле

$$n = K_{изг} \frac{\gamma - \gamma_{м.р}}{M_{доп}}, \quad (5.12)$$

где  $\gamma$  — угол поворота компенсатора, град;  $\gamma_{м.р}$  — угол поворота компенсатора при монтажной растяжке, град;  $K_{изг}$  — жесткость линзы на изгиб, принимаемая по табл. 5.6 в зависимости от заданных  $D_{\gamma}$  и  $p_{\gamma}$ , кгс·см·град<sup>-1</sup>;  $M_{доп}$  — допускаемый изгибающий момент, кгс·см. При отсутствии монтажной растяжки  $\gamma_{м.р} = 0$ .

Полученное значение округляется в сторону увеличения до целого числа. По большему из полученных по формулам (5.11) и (5.12) значений подбирается шарнирный компенсатор по ОСТ.

Распорные усилия в шарнирных компенсаторах определяются так же, как и в сдвоенных компенсаторах (при установке двухшарнирных компенсаторов на участке трубопровода с защемленными концами). Сила сопротивления  $R_1$  в шарнирных компенсаторах отсутствует.

В практике возможно использование линзовых компенсаторов в виде одно-, двух- и трехшарнирных схем. Более подробно рассмотрены эти схемы и даны примеры их расчета в [16, 17].



## 5.4. ХОЛОДНАЯ РАСТЯЖКА ТРУБОПРОВОДОВ

Для уменьшения напряжений в П-образных и линзовых компенсаторах при рабочем состоянии трубопровода, а также для уменьшения нагрузки, передаваемой на оборудование, производится холодная растяжка (монтажный натяг), при которой трубопровод в холодном состоянии растягивают в пределах упругих свойств металла. Напряжения растяжения, полученные в результате холодной растяжки, при тепловом удлинении трубопровода (его нагреве) снимаются. Холодная растяжка может выполняться на отдельных участках трубопровода, имеющих гнутые фасонные части, между двумя неподвижными опорами и только в одном месте.

Выполнение холодной растяжки необходимо. Вопрос о целесообразности ее применения, а также о ее размере и месте выполнения следует решать с учетом конкретных особенностей трубопровода. Рекомендуется применять монтажную растяжку в высокотемпературных трубопроводах, обладающих локализаторами ползучести, т. е. элементами, в которых может происходить интенсивное накопление деформации ползучести.

Возможны случаи, когда монтажная растяжка дает отрицательный эффект. Учет монтажной растяжки в расчете трубопровода на прочность допускается лишь в том случае, когда гарантируется выполнение ее в строгом соответствии с данными проекта. При применении монтажной растяжки с негарантируемым качеством ее выполнения рекомендуется производить расчет трубопровода без учета монтажной растяжки. В этом случае ее положительный эффект относится к неучитываемым факторам, повышающим запас надежности. Однако при этом требуется обосновать положительное значение применяемой монтажной растяжки [5, с. 37].

Холодная растяжка трубопроводов независимо от их категории должна быть определена расчетом напряжений в металле труб при холодном и горячем состояниях, причем при рабочей температуре стенок труб выше 400 °С необходимо руководствоваться длительной прочностью, а в холодном состоянии — пределом текучести.

Холодная растяжка производится на сварном стыке или фланцевом соединении, наиболее удаленном от компенсатора, так как в этом случае перекося в сварном соединении при стягивании будет наименьшим. Холодная растяжка выполняется в виде зазора между концами труб, причем расстояние между этими концами должно быть равно размеру холодной растяжки плюс зазор на сварку. Место и размер холодной растяжки указываются на чертежах трубопровода. Холодная растяжка выполняется после окончания монтажа, когда вы-

ставлены все опоры и подвески и трубопровод надежно закреплен в неподвижных опорах.

Рекомендуется принимать монтажную растяжку в низкотемпературных трубопроводах не более 60% воспринимаемого (компенсируемого) температурного удлинения, для высокотемпературных трубопроводов не более 100δ %, где δ — коэффициент релаксации компенсационных напряжений, принимаемый по графику на рис. 5.3 [5, с. 38].

Монтажная растяжка трубопроводов в холодном состоянии должна быть ограничена таким образом, чтобы с возрастанием саморастяжки трубопроводов в процессе их эксплуатации вследствие релаксации температурных напряжений напряжения в материале деталей труб в холодном состоянии не превышали установленных нормами значений.

Холодная растяжка или сжатие линзовых осевых компенсаторов на прямых участках трубопроводов производится на половину расчетной компенсирующей способности компенсаторов. При работе линзовых компенсаторов в качестве шарниров (шарнирные компенсаторы) на ломаной трассе осевая холодная растяжка их принимается равной тепловому удлинению трубопровода между креплениями стяжек за вычетом удлинения стяжек. При установке на трубопроводах сальниковых компенсаторов растяжка трубопровода не выполняется, так как установка и конструкция этих компенсаторов учитывают полную компенсацию тепловых удлинений трубопроводов.

Допускаемое напряжение от холодной растяжки для трубопроводов с расчетной температурой 350 °С и выше для всех категорий трубопроводов, рассчитываемых на холодную растяжку в размере 100%-го теплового удлинения, определяется по следующим формулам.

1. Для продольных напряжений  $R_{2x}$ , кгс/мм<sup>2</sup>:

в сечении сварного шва ( $\varphi < 1$ )

$$R_{2x} = [\varphi \sqrt{0,64 - m^2} - 0,64(1 - \varphi)m] \sigma_{0,2}^{20};$$

в сечении целой трубы ( $\varphi = 1$ )

$$R_{2x} = \sqrt{0,64 - m^2} \sigma_{0,2}^{20}.$$

2. Для тангенциальных напряжений  $R_{1x}$ , кгс/мм<sup>2</sup>:

$$R_{1x} = 0,9(1 - m) \sigma_{0,2}^{20},$$

где  $\sigma_{0,2}^{20}$  — предел текучести при 20 °С, кгс/мм<sup>2</sup>;  $\varphi$  — коэффициент прочности сварного шва;  $m = 1,15\sigma_{пр}/\sigma_{0,2}^{20}$  — параметр, учиты-

вающий напряжения от внутреннего давления при гидравлическом испытании;  $\sigma_{пр}$  — приведенное напряжение от действия внутреннего давления, кгс/мм<sup>2</sup>, которое определяется по формуле

$$\sigma_{пр} = \frac{p[D_n - (S - C)]}{200\varphi(S - C)}.$$

Условные обозначения — см. п. 10.2.1.

При полной релаксации напряжения самокомпенсации в холодном трубопроводе появится напряжение саморастяжки  $\sigma_{с.р}$ , кгс/мм<sup>2</sup>:

$$\sigma_{с.р} = \frac{E_0}{E_t} R_{2г},$$

где  $E_0$  и  $E_t$  — модули упругости в холодном металле и при расчетной температуре, кгс/мм<sup>2</sup>;  $R_{2г}$  — допускаемое напряжение самокомпенсации в рабочем состоянии трубопровода, кгс/мм<sup>2</sup>.

Допускаемое напряжение при холодном растяге  $R_{нг}$ , кгс/мм<sup>2</sup>, равно:

$$R_{нг} = R_{2г} - \sigma_{с.р}.$$

Отношение допускаемых напряжений самокомпенсации в холодном и горячем трубопроводе при температуре ниже 350 °С равно:

$$\frac{R_x}{R_r} = 1,05 - \frac{t}{500}. \quad (5.13)$$

По формуле (5.13) ограничивается напряжение от монтажной растяжки, причем учитываются последующие (в течение эксплуатации трубопровода) нарастания натяга за счет релаксации напряжений самокомпенсации.

Допускаемая частичная холодная растяжка (в процентах температурного удлинения для трубопроводов с температурой 350 °С) определяется из выражения

$$\Delta_n = \frac{\frac{R_x}{R_r} 100}{\frac{R_x}{R_r} + \frac{E_0}{E_t}}.$$

Допускаемое напряжение самокомпенсации в рабочем состоянии трубопровода определяется по следующим формулам.

1. Для продольных напряжений  $R_{2г}$ , кгс/мм<sup>2</sup>:

в сечении сварного стыка ( $\varphi < 1$ )

$$R_{2г} = [\varphi \sqrt{0,64 - m^2} - 0,64(1 - \varphi)m] \sigma_{0,2}^t;$$

в сечении целой трубы

$$R_{2г} = \sqrt{0,64 - m^2} \sigma_{0,2}^t.$$

2. Для тангенциальных напряжений  $R_{1г}$ , кгс/мм<sup>2</sup>:

$$R_{1г} = 0,9(1 - m) \sigma_{0,2}^t,$$

где  $\sigma_{0,2}^t$  — предел текучести при расчетной температуре компенсации, кгс/мм<sup>2</sup>.

Пример расчета допускаемых напряжений от холодной растяжки трубопровода приведен в [18, с. 133].

## Раздел шестой

### КРЕПЛЕНИЕ СТАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

#### 6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Крепление стационарных трубопроводов осуществляется при помощи специально разработанных для этой цели опор и подвесок. Правильная расстановка опор и подвесок, выбор их типа и конструкции обеспечивают нормальные условия работы стационарных трубопроводов и влияют на надежность их работы.

Основное назначение опор и подвесок — восприятие весовых нагрузок трубопровода. Кроме того, в случае необходимости они должны обеспечивать требуемое перемещение трубопровода в месте их установки, воспринимать усилия от тепловых его перемещений, а в некоторых случаях предохранять трубопровод от возможных вибраций.

Каждая опора или подвеска состоит из узла крепления к трубе (ушек, хомутов, подушек и пр.), узла крепления к строительной конструкции или оборудованию (балок, консолей, кронштейнов, бетонных тумб и др.) и промежуточных элементов, соединяющих эти узлы (тяг, стоек и пр.).

Как правило, все узлы опор и подвесок трубопроводов нормализованы и стандар-

тизованы, изготавливаются и поставляются заводами совместно с трубопроводами. Исключением являются узлы крепления к зданию и оборудованию, которые из-за своего многообразия не стандартизованы и для трубопроводов высокого и низкого давлений поставляются заводами КВО и Т (котельно-вспомогательного оборудования и трубопроводов). Конструкция опоры и подвески в целом (сочетание нормализованных узлов с узлами крепления к строительным конструкциям) зависит от параметров транспортируемой трубопроводом среды, диаметра трубопровода, перемещения точки установки опоры трубопровода, трассировки закрепляемого участка, а также от воспринимаемых нагрузок. Детали опор и подвесок, непосредственно крепящиеся к трубе трубопровода, должны выполняться из материала, способного надежно работать в условиях эксплуатации самого трубопровода. Например, узлы крепления опоры к трубе трубопровода высокого давления должны быть выполнены также из легированных сталей.

Вес, передаваемый на опоры и подвески, находится в зависимости и от принятых расстояний между креплениями. Про-

Таблица 6.1. Длины и массы пролетов между точками крепления стационарных трубопроводов высокого давления для расчетного срока их работы в 200 тыс. ч по ОСТ 108.275.24-80

Продолжение табл. 6.1

Параметры среды	Размеры труб $D_H \times S$ , мм	Наибольший пролет трубопровода, мм	Масса принятого пролета, кг
$p=44 \text{ кгс/см}^2$ ; $t=340 \text{ }^\circ\text{C}$	273×10	11 700	2083**
	325×13	12 000	2988**
	377×13	12 000	3504**
	426×15	12 000	3960**
	465×16	12 000	3024**
	630×17	12 000	4116**
	630×25 721×22	12 000	5532** 5736**

\* Масса пролета трубопровода с изоляцией без заполнения его водой.

\*\* Масса пролета трубопровода с изоляцией, заполненного водой.

Параметры среды	Размеры труб $D_H \times S$ , мм	Наибольший пролет трубопровода, мм	Масса принятого пролета, кг
$p=255 \text{ кгс/см}^2$ ; $t=545 \text{ }^\circ\text{C}$	57×13	4500	161,5**
	108×22	8000	648**
	151×32	11 000	1628**
	194×38	12 000	2556**
	215×48	12 000	3854**
	273×52	12 000	4355**
	325×61	12 000	5868**
	377×71	12 000	7476**
	426×80	12 000	9612**
	465×80	12 000	10 692**
	$p=140 \text{ кгс/см}^2$ ; $t=530/545 \text{ }^\circ\text{C}$	76×13	6000
133×18		9500	931**
219×26		12 000	2292**
219×30		12 000	2493**
273×32		12 000	3168**
273×36		12 000	3420**
325×38		12 000	4332**
377×48	12 000	6024**	
$p=100 \text{ кгс/см}^2$ ; $t=540 \text{ }^\circ\text{C}$	76×13	5500	231**
	133×13	9000	765**
	159×15	10 000	990**
	191×18	12 000	1704**
	219×20	12 000	1968**
	273×24	12 000	2628**
325×28	12 000	3516**	
$p=41 \text{ кгс/см}^2$ ; $t=545 \text{ }^\circ\text{C}$	57×3,5	4000	108**
	108×6	7000	343**
	159×8	10 500	777**
	273×12	12 000	1728**
	377×17	12 000	3084**
	426×18	12 000	3324**
	465×20	12 000	3876**
	530×25	12 000	5280**
	630×28	12 000	6420**
	720×25	12 000	6720**
$p=380 \text{ кгс/см}^2$ ; $t=280 \text{ }^\circ\text{C}$	57×9	3600	121**
	133×18	7700	724**
	194×26	10 600	1781**
	273×34	12 000	3648**
	325×42	12 000	5148**
	377×48	12 000	6528**
	465×60	12 000	9480**
530×65	12 000	11 940**	
$p=240 \text{ кгс/см}^2$ ; $t=250 \text{ }^\circ\text{C}$ ; $p=185 \text{ кгс/см}^2$ ; $t=215 \text{ }^\circ\text{C}$	76×9	4600	207**
	133×13	7800	585**
	194×15	10 800	1393**
	194×17	10 500	1207,5**
	219×16	11 500	1507**
	219×19	10 500	1733**
	273×19	12 000	2568**
273×24	12 000	2892**	
$p=40 \text{ кгс/см}^2$ ; $t=440 \text{ }^\circ\text{C}$ ; $p=76 \text{ кгс/см}^2$ ; $t=145 \text{ }^\circ\text{C}$	57×3,5	3100	83,7**
	89×6	4700	235**
	108×6	5800	290**
	108×8	7300	379,6**
	159×9	8300	681**
	219×13	12 000	1704**
	273×16	12 000	2376**
325×19	12 000	3192**	
$p=44 \text{ кгс/см}^2$ ; $t=340 \text{ }^\circ\text{C}$	76×3,5	3800	140,6**
	89×4	4300	202,1**
	108×6	7700	331**
	159×7	8000	608**
	219×9	10 200	1153**

леты (расстояния) между опорами и подвесками на горизонтальных участках трубопровода являются величинами расчетными и определяются следующими условиями: прочностью при изгибе трубопровода, который рассматривается как многопролетная балка с пролетами в виде балок с защемленными концами и равномерно распределенной нагрузкой; упругим прогибом трубопровода, при котором гарантируется беспрепятственный сток конденсата или воды. Наибольший допустимый пролет  $l_1$ , см, из условия прочности определяется из выражения

$$M_{\text{х макс}} = \frac{1}{2} q l_1;$$

$$l_1 = \sqrt{\frac{12W\sigma}{q}}$$

Упругий прогиб трубопровода равен:

$$f = -\frac{q l^4}{384 E I_x}$$

Свободный сток воды или конденсата обеспечивается при выполнении условия

$$t \geq 4 \frac{f}{l},$$

откуда наибольший пролет трубопровода между его опорами из условия провисания  $l_2$ , см, составляет:

$$l_2 = \sqrt[3]{\frac{96 E I t}{q}}, \quad (6.1)$$

где  $q$  — равномерно распределенная нагрузка, включающая вес трубы, заполненной водой, и вес тепловой изоляции, кгс/см;  $\sigma$  — допускаемое напряжение на изгиб, кгс/см<sup>2</sup>;  $W$  и  $I$  — соответственно момент сопротивления и момент инерции сечения

Таблица 6.2. Длины пролетов между точками крепления стационарных трубопроводов низкого давления (по ОСТ 34.256-75—ОСТ 34.279-75)

Размеры труб $D_n \times S$ , мм	Наибольший принятый пролет, м	Размеры труб $D_n \times S$ , мм	Наибольший принятый пролет, м
57×3	3,5*1	133×4	7,2
57×3	4,0	159×4,5	7,0*1
76×3	3,5*1	159×4,5	8,0
76×3	4,0	219×6	9,0*1
89×3	4,5*1	219×6	11,0
89×3,5	5,0	273×6	10,6*1
108×3,5	5,5*1	273×7	12,0*2
108×4	6,0	325×6	11,6*1
133×3,5	6,5*1	325×8	12,0*2

\*1 К трубопроводам с  $p_y \leq 16$  кгс/см<sup>2</sup> и  $t \leq 300^\circ\text{C}$ .

\*2 Из условия наибольшего расстояния между колоннами здания.

Примечание. Для труб  $D_y \geq 325$  мм,  $S \geq 8$  мм принимается наибольший пролет 12 м.

трубы (см. табл. 3.10), см<sup>3</sup> и см<sup>4</sup>;  $E$  — модуль упругости, кгс/см<sup>2</sup> (см. табл. 2.20, 2.25 и 2.30);  $i$  — уклон трубопровода (см. п. 8.3.3);  $f$  — наибольший прогиб, см.

Как правило, величиной, определяющей максимальное расстояние между точками крепления, является наибольший допустимый прогиб трубопровода. В табл. 6.1 и 6.2 приведены длины пролетов между точками крепления стационарных трубопроводов высокого и низкого давления, принятые отраслевыми стандартами, в которых упругие прогибы в пролетах учтены при минимальных уклонах  $i$ . Иногда пролет определяется типовым расстоянием между колоннами здания, если эта длина не превосходит расчетного расстояния.

Массы принятых в ОСТ пролетов трубопроводов обычно служат исходными данными при определении допускаемых нагрузок стандартизованных узлов опор и подвесок. Для пружинных опор допускаемые нагрузки в ОСТ приняты по максимально допускаемым нагрузкам пружин.

## 6.2. ТИПЫ ОПОР И ПОДВЕСОК И ИХ РАССТАНОВКА

Опоры стационарных трубопроводов делятся на два основных типа: 1) неподвижные опоры, которые не допускают в месте их установки перемещения и поворота трубопровода; 2) подвижные опоры, обеспечивающие свободу перемещения трубопровода в заданном направлении и предохраняющие его в случае необходимости от вибраций.

Подвижные опоры в свою очередь подразделяются на опоры, допускающие перемещения трубопровода в горизонтальной плоскости (к ним относятся скользящие и катковые опоры, а также жесткие подвески), и опоры, допускающие вертикальные смещения и лишь незначительные горизон-

тальные перемещения (это пружинные подвески, опоры постоянного усилия, вертикальные направляющие опоры и проходы через перекрытия и крышу).

Все подвижные опоры, кроме скользящих, являются опорами с малым сопротивлением перемещениям. Правильная расстановка опор основывается на анализе расчета прочности трубопровода и передаваемых им нагрузок на оборудование. На рис. 6.1 приведены некоторые типы опор и подвесок, наиболее часто встречающиеся при креплении стационарных трубопроводов.

**Неподвижные опоры.** Опоры этого типа должны обеспечивать неподвижность закрепляемой точки трубопровода, исключать возможность поворачивания в них трубопровода, воспринимать усилия и моменты самокомпенсации соседних участков трубопровода, которые должны учитывать полную саморастяжку трубопровода вследствие релаксации температурных напряжений, воспринимать усилия и моменты от сил трения в скользящих опорах, передавать на строительные конструкции все усилия и моменты, не воспринятые подвижными креплениями, и т. д. Неподвижные опоры необходимо располагать, исходя из условия самокомпенсации находящегося между ними участка трубопровода; при невозможности соблюдения этого требования в трубопровод между неподвижными опорами должны встраиваться компенсирующие устройства или должна быть изменена трассировка трубопровода. Неподвижные опоры должны крепиться к частям здания, сооружения или к оборудованию, способному воспринимать усилия, передаваемые этими опорами при самом неблагоприятном случае их нагружения. Некоторые конструкции неподвижных опор приведены на рис. 6.1, а и б.

**Подвижные опоры.** К подвижным опорам относятся: *скользящие опоры*, обеспечивающие перемещение горизонтального трубопровода в двух направлениях (вдоль и поперек оси) и повороты в горизонтальной плоскости с запретом вертикального перемещения; *скользяще-направляющие опоры*, обеспечивающие перемещение трубопровода в одном направлении (обычно вдоль оси трубопровода) с запретом вертикальных перемещений и горизонтальных поворотов; *направляющие опоры*, применяющиеся с целью предохранения трубопровода от вибраций, для обеспечения правильной работы сальниковых компенсаторов, а также для предохранения чугунной арматуры от изгибающих моментов, вызванных компенсацией температурных удлинений. Все типы направляющих опор допускают поворот трубопровода примерно на 0,01—0,02 рад, следовательно, они не могут предохранить чугунную арматуру от воздействия изгибающих моментов при установке одной такой опоры. Для решения задачи необходима установка не менее двух направляющих опор с расстоянием между ними в несколько метров.

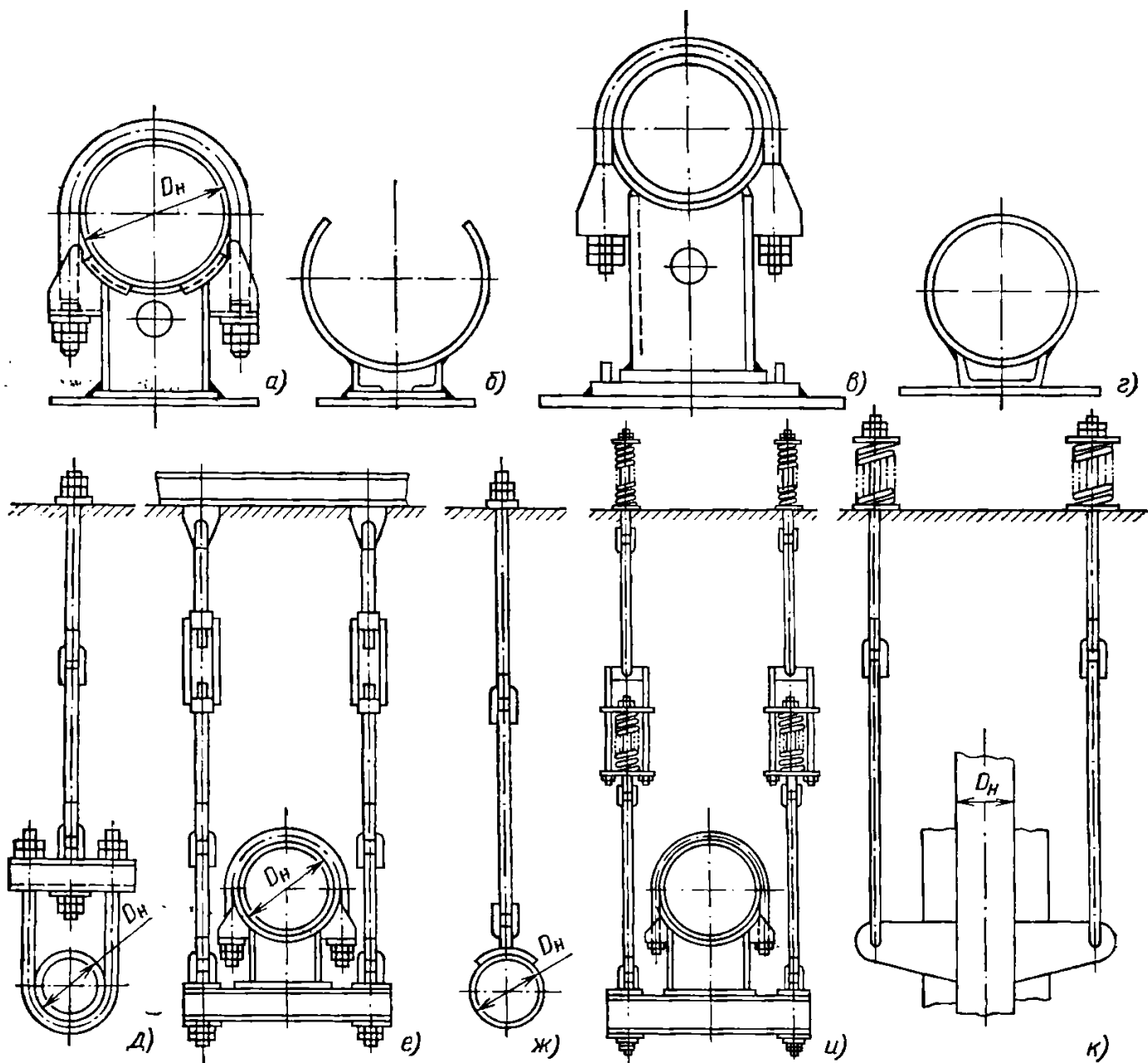


Рис. 6.1. Типы опор и подвесок стационарных трубопроводов:

*а* — опора неподвижная трубопроводов высокого давления; *б* — опора неподвижная для неизолированного трубопровода низкого давления; *в* — опора скользяще-направляющая для трубопроводов высокого давления; *г* — опора скользящая для трубопроводов низкого давления; *д* — подвеска жесткая для трубопроводов высокого давления с одной тягой; *е* — то же с двумя тягами; *ж* — подвеска жесткая для трубопроводов низкого давления с одной тягой; *з* — подвеска пружинная для трубопроводов с двумя тягами; *к* — подвеска пружинная для вертикального трубопровода низкого давления с двумя тягами

Эти виды опор могут выполняться скользящими и катковыми. Из всех подвижных опор скользящие опоры являются наиболее простыми по своему исполнению. Однако из-за значительного сопротивления перемещения, создаваемого трением скольжения и достигающего 30—40% нагрузки на опору, ограничивается применение скользящих опор. Так как продольные (осевые) составляющие сил трения передаются на неподвижные точки крепления трубопровода, неподвижные опоры в этом случае должны рассчитываться на значительные усилия, что не всегда возможно осуществить. Поперечные составляющие сил трения (перпендикулярные оси) вызывают дополнительные изгибающие напряжения в трубопроводе. Поэтому на ответственных тру-

бопроводах скользящие опоры устанавливать не рекомендуется. Применять эти опоры следует в точках с малыми поперечными перемещениями.

Катковые опоры обладают значительно меньшим сопротивлением продольному перемещению трубопровода т. е. в направлении, строго перпендикулярном образующей катка. При поперечном перемещении сопротивление в этих опорах силам трения такое же, как и у скользящих опор, что создает дополнительные моменты, ухудшающие условия самокомпенсации трубопровода. Однако имеются конструкции катковых опор, обеспечивающие перемещение трубопровода в двух направлениях. От применения шариковых опор в настоящее время отказались, так как практика пока-

зала, что в них трудно обеспечить равномерную нагрузку на шарики, в особенности при поворотах оси трубопровода в вертикальных плоскостях. Это приводило к заеданиям и повреждению опоры. Отдельные конструкции скользящих опор приведены на рис. 6.1, в, г.

**Жесткие подвески** (без пружин) обеспечивают перемещения и повороты трубопровода в любой плоскости с запретом вертикальных перемещений. Они находят применение как для вертикальных трубопроводов, так и для горизонтальных. По своей простоте и малому сопротивлению смещениям жесткие подвески являются наилучшим типом крепления горизонтальных трубопроводов при их горизонтальных смещениях. Однако горизонтальное смещение в них ограничивается длиной тяги, которая является связующим элементом между узлом крепления опоры к трубе трубопровода и узлом крепления к зданию или оборудованию. При отклонении тяги от вертикального положения в результате смещения ее нижней точки крепления к трубе на величину  $\Delta$  (рис. 6.2) эта точка поднимается на высоту, см,

$$h = l - \sqrt{l^2 - \Delta^2} \approx \frac{\Delta^2}{2l},$$

где  $l$  — длина тяги, см;  $\Delta$  — горизонтальное смещение в точке крепления трубы, вызванное тепловым удлинением трубопровода, см.

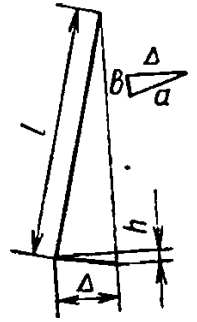
В результате подъема точки крепления относительно соседних опор увеличивается нагрузка на крепление, появляются дополнительные изгибающие моменты в трубопроводе, изменяются уклоны и появляются горизонтальные составляющие сил в точках крепления. При достаточной длине тяги  $l$  все эти явления незначительны, но влияние их может быть еще уменьшено, если при монтаже место крепления тяги к трубе сдвинуть на  $0,5\Delta$  навстречу перемещению при нагреве. В этом случае при рабочей температуре трубопровода вертикальная отметка точки подвеса не изменится, нагрузка на опору и напряжения от весовой нагрузки в трубопроводе и его уклоны останутся на уровне расчетных. Во избежание появления изгибающих моментов в горизонтальной плоскости от подъема точки крепления при отклонении жесткой подвески от вертикали и от нежелательных нагрузок в креплении длину тяги,  $l$ , см, следует принимать не менее

$$l = 10\Delta, \quad (6.2)$$

и тогда горизонтальные составляющие сил не превысят 5% расчетной весовой нагрузки.

Формула (6.2) действительна при условии смещения точки крепления на  $0,5\Delta$ . При невыполнении этого условия длина тяги должна быть увеличена в 2 раза. Следует отметить, что, задавая смещение точки подвеса при монтаже на  $0,5\Delta$ , нередко забывают о возможных боковых перемеще-

Рис. 6.2. Смещение точки крепления к трубе при отклонении жесткой подвески от вертикали:  
 $h$  — подъем крепления;  $a$  — продольное смещение;  $b$  — поперечное смещение;  $\Delta$  — суммарное смещение;  $l$  — длина тяги



ниях трубопровода (перпендикулярно его оси) и задают начальное смещение точки крепления к трубе только вдоль оси последней. Между тем бывают случаи, когда в некоторых точках крепления боковые смещения могут быть больше продольных, например на спинке горизонтально расположенного П-образного компенсатора. Для возможности обеспечения предварительного смещения точки крепления к трубе на  $0,5b$  (см. рис. 6.2) в боковом направлении при подвеске с одной тягой это следует учитывать в задаваемом расположении крепления подвески к строительной конструкции (смещение отверстия и т. п.). Однако наиболее целесообразно в этом случае предусматривать подвеску с двумя тягами и смещать ее ось относительно оси трубопровода. Такая подвеска имеет более длинные тяги, что благоприятно сказывается на ее работе.

**Пружинные подвески и опоры** обеспечивают перемещение трубопровода в вертикальном направлении. Эти опоры применяются для вертикальных трубопроводов или горизонтальных их участков, расположенных вблизи стояков. Это наилучший тип опоры для трубопроводов с вертикальными перемещениями. Конструкция пружинных подвесок как для вертикальных, так и для горизонтальных трубопроводов аналогична конструкции жестких подвесок и отличается только наличием пружины. В зависимости от размера вертикального смещения и нагрузки пружинные подвески с одной тягой могут выполняться с одной, двумя и тремя пружинами, устанавливаемыми последовательно (пружинная цепь), а при наличии у подвески двух тяг — соответственно с двумя, четырьмя и шестью пружинами. Правильный выбор пружинной подвес-

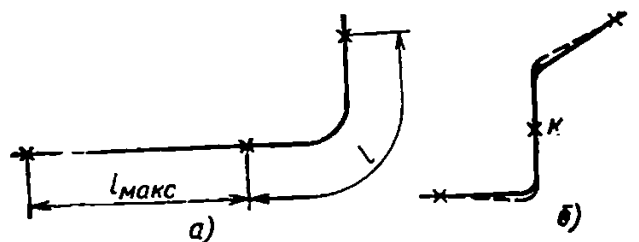


Рис. 6.3. Схема установки жестких и пружинных подвесок на горизонтальном участке трубопровода у поворота и на трубопроводе Z-образной конфигурации:

а — установка подвески у поворота трубопровода; б — установка подвески на вертикальном участке трубопровода Z-образной конфигурации.

Таблица 6.3. Перечень отдельных составляющих суммарной нагрузки, действующей на опору и узел ее крепления

№ п/п	Наименование составляющих нагрузки	Характеристика нагрузки	Направление действия нагрузки
1	Собственный вес труб и фасонных элементов трубопровода	Распределенная	Вниз
2	Вес воды, заполняющей трубопровод	"	"
3	Вес тепловой изоляции трубопровода	"	"
4	Вес арматуры трубопровода	"	"
5	Собственный вес опоры трубопровода	Сосредоточенная	"
6	Трение в опорной конструкции под опорой	"	Вдоль перемещения трубы
7	Момент трения в опорной конструкции от нагрузки—п.б	"	В плоскости трения
8	Момент от несопадения оси действия весовой нагрузки с осью опорной конструкции при смещении трубопровода	"	В вертикальной плоскости трубопровода
9	Трение в элементах направляющих опор	"	В плоскости опорной поверхности опоры
10	Момент в направляющей опоре от поворота трубы	"	То же
11	Компенсационные опорные реакции	"	В плоскости трубопровода или в пространстве
12	Компенсационные опорные моменты	"	То же
13	Момент от компенсационных опорных реакций	"	В плоскости трубопровода
14	Гидравлический распор встроенных компенсаторов	"	То же
15	Механический распор (жесткость) компенсаторов, встроенных в трубопровод	"	В плоскости продольной оси трубопровода и компенсатора
16	Опорные реакции от ответвлений на тройниках	"	В плоскости ответвлений и трубопровода

ки сводится к рациональному выбору пружин, позволяющему получить необходимую техническую характеристику такой подвески. Выбор пружин для пружинных опор и подвесок приведен в § 6.5. Некоторые типы жестких и пружинных подвесок приведены на рис. 6.1, д—к.

При расстановке жестких и пружинных подвесок следует соблюдать следующие положения. Развернутая длина  $l$  горизонтальной трассы трубопровода между опорами у поворота (рис. 6.3, а) не должна превышать  $2/3$  максимально допустимого пролета  $l_{\text{макс}}$  на прямой его трассе, т. е.  $l \leq 2/3 l_{\text{макс}}$ . На участках Z-образной формы с вертикальным средним плечом (рис. 6.3, б) целесообразно устанавливать крепление в точке вертикального участка, не имеющей вертикальных перемещений (точка К). Такое решение позволяет основную нагрузку от веса стояка передавать на жесткую подвеску и тем самым уменьшить количество пружинных опор.

На вертикальных участках трубопроводов можно ограничиться креплением только верхней части трубы, так как напряжение растяжения или сжатия от собственного веса всегда незначительно. Однако во избежание вибраций и для более равномерного распределения нагрузок на строительные конструкции (если в этом есть необходимость), а также при невозможности выбора пружин на нагрузку от веса всего стояка в целом целесообразно предусматривать несколько опор на вертикальном участке трубопровода, располагая их так, как это удобно в конструктивном отношении.

### 6.3. НАГРУЗКИ ОПОР ТРУБОПРОВОДОВ И ИХ УЗЛОВ КРЕПЛЕНИЯ

В зависимости от типа и условий, в которых работает та или иная опора, нагрузка ее и узла ее крепления может состоять из суммы отдельных нагрузок, приведенных в табл. 6.3.

*Весовая нагрузка* состоит в зависимости от характера трубопровода из суммы нагрузок (п. 1—5 в табл. 6.3), умноженной на коэффициент 1,5, учитывающий возможность аварийного выхода из строя ближайшей соседней опоры, неточности монтажа и т. д. При выборе пружины коэффициент 1,5 не учитывается.

*Горизонтальная нагрузка от сил трения на опорные конструкции*  $Q_T$ , кгс, характерна для скользящих, скользяще-направляющих, а также катковых опор. Эта нагрузка определяется по формуле

$$Q_T = \rho \Sigma G,$$

где  $\Sigma G$  — сумма всех весовых нагрузок на опору, присущих данному трубопроводу, включая массу самой опоры, кг;  $\rho$  — коэффициент трения подвижной опоры.

Для скользящих опор (трение скольжения металла по металлу)  $\rho = 0,3 \div 0,45$ . Для катковых опор (трение качения): для роликовых  $\rho = 0,08 \div 0,1$ , для шариковых  $\rho = 0,03 \div 0,04$ .

*Горизонтальная составляющая сил, возникающая при отклонении тяг подвесок от вертикали*  $Q_G$ , кгс, (рис. 6.4) определяется как

$$Q_r = \Sigma G \operatorname{tg} \beta,$$

где  $\beta$  — угол наклона тяги подвески к вертикали;  $\Sigma G$  — сумма составляющих весовой нагрузки данной опоры.

Горизонтальная нагрузка на опорные конструкции неподвижных опор  $Q_{\text{в}}$ , кгс, определяется как сумма реакций сил трения скользящих опор и горизонтальных составляющих при отклонении тяг подвесок, расположенных между неподвижными опорами:

$$Q_{\text{в}} = \Sigma Q_{\text{т}} + \Sigma Q_{\text{г}},$$

где  $\Sigma Q_{\text{т}}$  — сумма реакций сил трения в промежуточных скользящих опорах;  $\Sigma Q_{\text{г}}$  — сумма горизонтальных составляющих сил при отклонении тяг подвесок.

Момент трения в опорной конструкции от силы трения  $Q_{\text{т}}$  для скользящих опор  $M_{\text{тр}}$ , кгс·см, в зависимости от типа крепления к строительной части, определяется:

1) для консольно крепящихся опор (рис. 6.5, а)

$$M_{\text{тр}} = Q_{\text{т}} H;$$

2) для опор, расположенных на тумбах (рис. 6.5, б),

$$M_{\text{тр}} = Q_{\text{т}} h.$$

Момент от несовпадения оси действия весовой нагрузки с осью опорной конструкции  $M_{\text{в}}$ , кгс·см, в зависимости от типа опор равен:

1) для скользящих опор (рис. 6.6)

$$M_{\text{в}} = \Sigma G t;$$

2) для подвесок всех типов (см. рис. 6.4)

$$M_{\text{в}} = \Sigma G l \sin \beta;$$

3) для консольных неподвижных опор (см. рис. 6.5, а)

$$M_{\text{в}} = \Sigma G H.$$

Трение в элементах направляющих опор возникает вследствие теплового удлинения перпендикулярного участка трубопровода. На рис. 6.7 приведена схема трубопровода АБВГ, в которой тепловое удлинение плеча ВВ прижимает участок АБ к направляющей опоре, расположенной в точке В. Создающаяся при этом сила прижатия трубы к опоре  $R$ , кгс, равна:

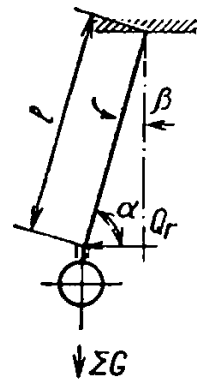
$$R = 3EI\delta_t \frac{l}{l_0^3} 10^{-7},$$

где  $E$  — модуль упругости материала трубы при рабочей температуре, кгс/см<sup>2</sup>;  $I$  — момент инерции сечения трубы (см. табл. 3.10), см<sup>4</sup>;  $\delta_t$  — относительное тепловое удлинение трубы (см. табл. 5.1), мм/м;  $l$  и  $l_0$  — плечи трубопровода, м. Искомая сила трения в опоре  $N_{\text{тр}}$ , кгс, составит:

$$N_{\text{тр}} = \rho R,$$

где  $\rho$  — коэффициент трения в опоре (см. выше).

Рис. 6.4. Схема работы жесткой подвески



Момент в направляющей опоре от поворота трубы  $M_{\text{в}}$  для трубопровода, приведенного на рис. 6.7, в опоре В вызывается удлинением  $\Delta l_0$  плеча  $l_0$ , действующим на участок АБ плечом ВВ как рычагом. Поворачивающее усилие в этом случае в точке В, кгс, составит:

$$P' = 3EI\delta_t \frac{l_0}{l^3},$$

а плечо для искомого момента равно  $l$ , откуда момент, кгс·см,

$$M_{\text{в}} = P'l = 3EI\delta_t \frac{l_0}{l^2} 10^{-5}.$$

Компенсационные опорные реакции и моменты определяются из расчета компенсации тепловых удлинений каждого участка трубопроводов в пределах между двумя соседними неподвижными опорами.

Момент от компенсационных опорных реакций  $M_{\text{к}}$ , кгс·см, определяется в зависимости от вида крепления опоры к строительной части. Для консольно установленных опор (см. рис. 6.5, а)

$$M_{\text{к}} = P_{\text{к}} H,$$

для опор, устанавливаемых на тумбах (см. рис. 6.5, б)

$$M_{\text{к}} = P_{\text{к}} H_0,$$

где  $P_{\text{к}}$  — опорная компенсационная реакция трубопровода с учетом ее расположения

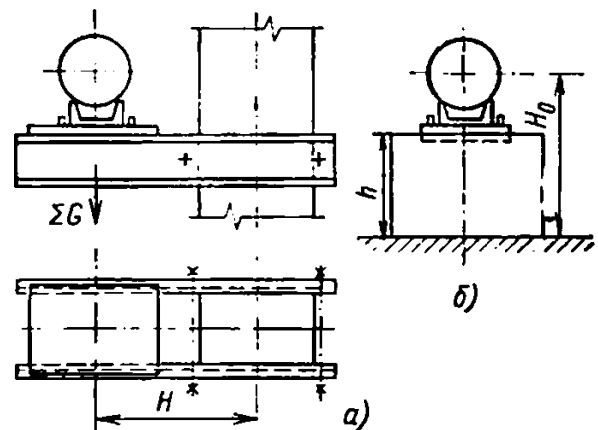


Рис. 6.5. Схема работы скользяще-направляющей опоры в зависимости от типа крепления:

а — опора, крепящаяся консольно к колонне здания; б — опора, устанавливаемая на тумбе пола или перекрытии здания



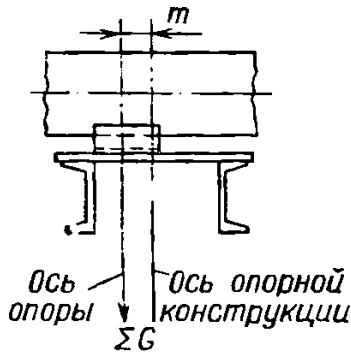


Рис. 6.6. Схема работы скользящей опоры при несовпадении оси опоры с осью крепления опоры к опорной конструкции

в пространстве, кгс;  $H$  и  $H_0$  — плечи действия силы  $P_k$ , см.

Гидравлический и механический (жесткость) распор встроенных компенсаторов принимаются по отраслевым стандартам на соответствующие компенсаторы.

Опорные реакции от ответвлений на тройниках — суммарные изгибающие моменты, кгс·см, для схемы трубопровода, приведенной на рис. 6.8, по эпюре моментов соответственно равны: в точке  $A$   $M_A=0$ , в точке  $P_0$

$$M_{P_0} = \frac{[P_0(b+c) + P_k c] a}{l},$$

в точке  $P_k$

$$M_{P_k} = \frac{[P_0(b+c) + P_k c] (a+b)}{l},$$

в точке  $B$   $M_B=0$ . Сила  $P$  является опорной реакцией участка  $TO$ , отводимого через тройник  $T$  от рассчитываемого трубопровода  $AB$ . Она определяется из расчета самокомпенсации трубопровода  $TO$ , а для расчета нагрузок на опоры  $A$  и  $B$  принимается ее проекция на нормаль к участку  $AB$ . При отсутствии на схеме рис. 6.8 задвижки  $P_0=0$  и приведенные формулы примут вид:

$$M_A = M_{P_0} = M_B = 0;$$

$$M_P = \frac{P_k c (a+b)}{l}.$$

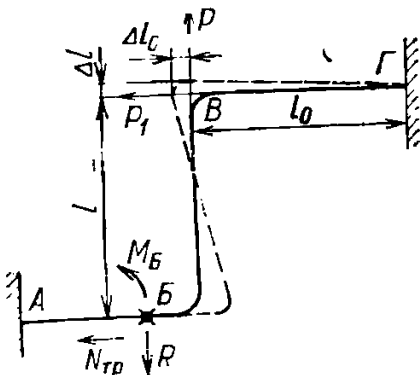


Рис. 6.7. Схема возникновения трения в направляющих опорах:

$A$  и  $\Gamma$  — неподвижные опоры;  $B$  — направляющая опора

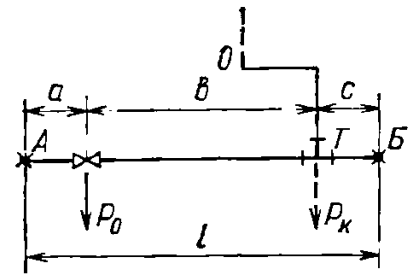


Рис. 6.8. Схема опорных реакций в трубопроводах от ответвлений

При отсутствии ответвления  $TO$  (т. е.  $P_k=0$ ), но при наличии задвижки формулы принимают вид:

$$M_A = M_{P_k} = M_B = 0;$$

$$M_{P_0} = \frac{P_0(b+c)a}{l},$$

где  $P_0$  и  $P_k$  — соответственно силы веса задвижки и ответвления, кгс;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $l$  — расстояния, см.

Перечень составляющих основных нагрузок на опоры и узлы их крепления в зависимости от типа опоры приведен в табл. 6.4. Наличие тех или иных составляющих нагрузки определяется конкретными условиями установки опоры. Так, например, при отсутствии на трубопроводе линзового компенсатора неподвижная опора не испытывает нагрузки от его гидравлического распора.

#### 6.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ НАГРУЗОК ОПОР ТРУБОПРОВОДОВ

Одним из важнейших моментов выбора опор, особенно пружинных, является правильное определение их рабочей нагрузки (нагрузки при рабочем состоянии трубопровода).

**Пружинные подвески (упругие опоры).** Для определения рабочей нагрузки на пружинную подвеску применяется так называемый критерий минимума напряжений от весовой нагрузки; это означает, что рабочие нагрузки опор должны сводить к минимуму напряжения в трубопроводе от действия весовой нагрузки. К весовой нагрузке относятся веса труб трубопровода, тепловой изоляции, транспортируемой среды, арматуры (см. § 6.3).

Существует два способа определения рабочих нагрузок на пружинную опору:

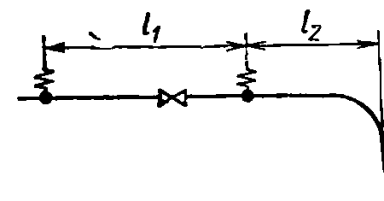


Рис. 6.9. Схема расположения пружинной опоры на горизонтальном участке около вертикального стояка

Таблица 6.4. Перечень составляющих основных нагрузок на опоры и узлы их крепления в зависимости от типа опоры

Тип опоры	Нагрузки, учитываемые при расчете опор	
	для собственно опоры	для узла крепления (опорной конструкции под опорой)
Неподвижные опоры всех типов и конструкции	1, 2, 3, 4, 6 <sup>*1</sup> , 7 <sup>*1</sup> , 11, 12, 13, 14, 15, 16 <sup>*2</sup>	1, 2, 3, 4, 5, 6 <sup>*1</sup> , 7 <sup>*1</sup> , 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16 <sup>*2</sup>
Скользящие-направляющие опоры для горизонтальных перемещений трубопровода	1, 2, 3, 4, 9, 10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Скользящие опоры (без направляющей) для горизонтальных перемещений трубопровода	1, 2, 3, 4, 9, 10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Направляющие опоры для вертикальных трубопроводов	—	(1+2+3+4)0,2 <sup>*3</sup>
Жесткие подвески: с одной тягой	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4, 5, 8
с двумя тягами (на балке)	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4, 5, 8, 10
Пружинные подвески: с одной тягой	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4, 5, 8
с двумя тягами (на балке)	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4, 5, 8, 10
Опоры-подпятники для вертикальных трубопроводов	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4, 5, 6 <sup>*4</sup>
Шарнирные опоры всех типов и конструкций	1, 2, 3, 4, 6 <sup>*1</sup> , 7 <sup>*1</sup> , 11, 12, 13, 14, 15, 16 <sup>*2</sup>	1, 2, 3, 4, 5, 6 <sup>*1</sup> , 7 <sup>*1</sup> , 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16 <sup>*2</sup>

\*1 Сумма реакций сил трения в соседних подвешенных опорах, которые передаются через трубу на данную неподвижную опору.

\*2 Усилия, создающиеся в опоре, когда компенсационные реакции перпендикулярных ветвей трубопровода прижимают данную ветвь к опорной конструкции или к опоре.

\*3 Коэффициент трения.

\*4 В случае, если опора-подпятник имеет возможность скользить или катиться по стальной конструкции.   
Примечание. Цифры 1—16 соответствуют номерам нагрузок, приведенных в табл. 6.3.

1) способ нулевых перемещений от весовых нагрузок, предусматривающий определение их из уравнений строительной механики, выражающих условие равенства нулю вертикальных перемещений трубопровода в точках установки опор при совместном действии весовой и рабочих нагрузок опор. Этот способ требует применения ЭВМ. Следует отметить, что модификация этого способа (способ условных упругих опор большой жесткости) уже реализована в программах Т-20 и Т-24 расчета трубопроводов на прочность с помощью ЭВМ;

2) способ уравнивания весовой нагрузки по пролетам. Указанный способ более прост, но не всегда дает достаточно хорошие результаты по сведению к минимуму напряжений в трубопроводе от весовой нагрузки. Тем не менее он вполне удовлетворительно может применяться для ответственных трубопроводов (3-й и 4-й категорий), работающих в зоне малых температур и давлений, для расчета которых, как правило, не обязательно проведение расчетов с помощью ЭВМ. В этом случае рабочая нагрузка опоры принимается равной весовой и определяется как полусумма весов пролетов трубопровода, заключенных между данной опорой и ближайшими к ней опорами с той и другой стороны.

Для пружинных опор различают следующие нагрузки: рабочую нагрузку  $P_{\text{раб}}$ , воспринимаемую опорой в рабочем состоянии трубопровода и равную весовой нагрузке; монтажную нагрузку  $P_{\text{монт}}$ , воспринимаемую пружиной в монтажном (холодном) состоянии трубопровода.

Рабочая нагрузка на пружинную опору (для ответственных трубопроводов)  $P_{\text{раб}}$ , кгс, горизонтального участка трубопровода принимается равной:

$$P_{\text{раб}} = q_p \cdot 0,5(l_1 + l_2) + kQ_a,$$

где  $q_p$  — вес 1 м трубопровода с изоляцией в его рабочем состоянии (для паропроводов — без воды, для водоводов — с водой), кгс/м;  $l_1$  и  $l_2$  — длины горизонтальных пролетов справа и слева от опоры, м;  $Q_a$  — вес арматуры, кгс;  $k$  — доля веса арматуры, передаваемая на данную опору.

Для пружинных опор, расположенных на горизонтальных участках около вертикальных стояков (рис. 6.9), рабочая нагрузка, кгс, определяется по формуле

$$P_{\text{раб}} = q_p(0,5l_1 + l_2) + kQ_a + k_b Q_b,$$

где  $k_b$  — доля веса вертикального стояка, передаваемая на опору; остальные обозначения те же, что и в предыдущей формуле.

Масса вертикальных участков может быть распределена между опорами любым образом (см. § 6.2).

Монтажная нагрузка на пружинную опору отличается от рабочей вследствие изменения натяга пружины опоры, обусловленного вертикальными перемещениями трубопровода при его нагреве. Монтажная нагрузка  $P_{\text{монт}}$ , кгс, составляет:

$$P_{\text{монт}} = P_{\text{раб}} \pm \frac{\Delta y}{\lambda_{\text{макс}}} P_{\text{макс}},$$

где  $\Delta y$  — вертикальное тепловое перемещение трубопровода в точке установки опоры,

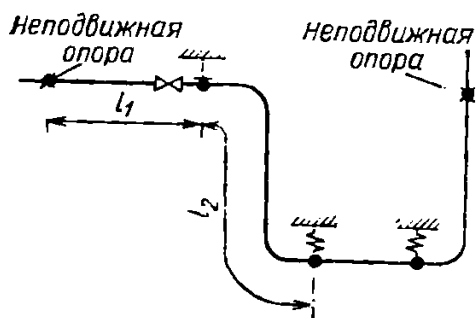


Рис. 6.10. Схема расположения жесткой опоры, соседней с пружинными опорами, разгружающимися при остывании трубопровода

мм;  $\lambda_{\text{макс}}$  — максимально допустимый прогиб установленной пружины, мм;  $P_{\text{макс}}$  — максимально допускаемая нагрузка на одну пружину, кгс;  $P_{\text{раб}}$  — рабочая нагрузка пружины, кгс.

**Жесткие подвески и опоры.** Для этого типа опор рабочая нагрузка также принимается равной весовой. Так, нагрузка на жесткую опору  $P_{\text{раб}}$ , кгс, расположенную между двумя другими жесткими опорами, определяется по формуле

$$P_{\text{раб}} = q \cdot 0,75(l_1 + l_2) + 1,5kQ_a,$$

где  $q$  — вес 1 м трубы, включая вес воды и изоляции, кгс/м;  $l_1$  и  $l_2$  — длины пролетов справа и слева от опоры, м;  $Q_a$  — вес арматуры, кгс;  $k$  — доля веса арматуры, передаваемого на данную опору.

Эта формула для паропроводов учитывает нагрузки при проведении их гидравлического испытания. Однако по Правилам Госгортехнадзора СССР опоры паропроводов могут рассчитываться без учета веса воды, потребной для гидравлического испытания. Но в этом случае должно быть предусмотрено применение специальных приспособлений для разгрузки опор. Коэффициенты 1,5 и 0,75 ( $1,5/2$ ) учитывают возможность повышения нагрузки (см. § 6.3).

**Нагрузка жесткой опоры (рис. 6.10)**  $P_{\text{раб}}$ , кгс, соседней с пружинными опорами, разгружающимися при остывании трубопровода, определяется по предыдущей формуле и дополнительно проверяется по формуле

$$P_{\text{раб}} = q_p(0,75l_1 + 0,5l_2) + 1,5kQ_a + 0,2\Sigma P_{\text{пр}},$$

где  $l_1$  — пролет между данной опорой и соседней жесткой опорой, м;  $l_2$  — расстояние между данной опорой и следующей пружинной опорой, м;  $\Sigma P_{\text{пр}}$  — нагрузка, воспринимаемая при рабочем состоянии трубопровода пружинными опорами, которые расположены между данной опорой и следующей жесткой опорой, кгс;  $q_p$  — вес 1 м трубопровода в рабочем состоянии (для паропроводов — без воды, для водоводов — с водой), кгс/м.

В качестве рабочей должна принимать-

ся большая из нагрузок, подсчитанная по данной и предыдущей формулам.

**Опоры для выхлопных трубопроводов.** В качестве расчетной нагрузки для этих опор должна приниматься реакция истечения пара из выходного отверстия выхлопной трубы. Эта реакция направлена прямо противоположно истечению из трубы. Реакция выхлопного трубопровода определяется гидродинамическим и пьезометрическим давлениями с учетом атмосферного давления ( $1 \text{ кгс/см}^2$ ). Реакция истечения в атмосферу  $R$ , кгс, равна.

$$R = F(p_2 - 1 + 2p_{2д}),$$

где  $F$  — площадь прохода выходного сечения трубы,  $\text{см}^2$ ;  $p_2$  — давление пара в конце выхлопа,  $\text{кгс/см}^2$ ;  $p_{2д}$  — гидродинамическое давление пара,  $\text{кгс/см}^2$ . Методика расчета  $p_{2д}$  приведена в разд. 9. Реактивные усилия выхлопов следует передавать на неподвижные и жесткие опоры.

## 6.5. УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ ПРУЖИН ПРУЖИННЫХ ОПОР

Выбор пружин для пружинных опор и подвесок стационарных трубопроводов производится по рабочей нагрузке на опору с учетом вертикального температурного перемещения закрепляемой точки трубопровода при его рабочем состоянии. Рекомендации по расчету рабочей нагрузки на пружинные опоры изложены в § 6.4. Вертикальные тепловые перемещения точек крепления трубопроводов для ответственных трубопроводов принимаются с учетом влияния выбранных промежуточных (пружинных) опор, т. е. с учетом так называемого видимого перемещения, определяемого и учитываемого при выборе пружинных опор с помощью ЭВМ при расчете трубопровода на прочность. Для неотчетливых трубопроводов вертикальные температурные перемещения могут приниматься без учета влияния выбранных промежуточных опор, т. е. с учетом так называемых полных перемещений — перемещений на чистую самокомпенсацию тепловых расширений. Схема работы пружины опоры стационарного трубопровода приведена на рис. 6.11.

Для пружинных опор и подвесок стационарных трубопроводов применяются и

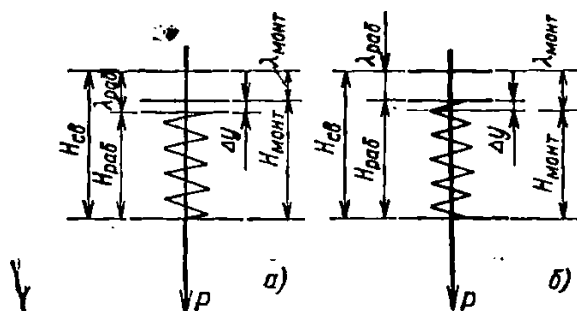


Рис. 6.11. Схема работы пружины, пружинных опор. Трубопровод после нагрева перемещается вниз (а), вверх (б)

изготавливаются пружины по отраслевым нормам МВН 049-63 (табл. 6.5), а в дальнейшем намечается выпуск пружин по отраслевому стандарту ОСТ 108.764.01-80 (табл. 6.6).

Таблица 6.5. Пружины по МВН 049-63

Индекс по МВН	Допускаемая нагрузка $P_{\text{макс}}$ , кгс	Диаметры		Высота пружины в с/о одним состоянием $H_{\text{св}}$ , мм	Число витков		Коэффициент пружины $K_{\text{пр}}$
		прутка $d$ , мм	пружины $D_H$ , мм		рабочее $n$	полное $n_1$	
<b>Группа 2 (<math>\lambda_{\text{макс}}=140</math> мм)</b>							
01	97	7	80	242	9	11	1,443
02	197	9		303	13	15	0,711
03	292	10		322	14	16	0,479
04	514	12		394	18	20	0,272
05	815	16	120	345	10	12	0,172
06	1155	18		405	12	14	0,121
07	1562	22	160	373	8	10	0,069
08	2050	24		413	9	11	0,068
09	2420	26		497	11	13	0,058
10	3420	30	175	507	10	12	0,041
21	4620	32		543	10	12	0,030
22	5720	36	210	473	7	9	0,024
23	6400	40	240	515	7	9	0,022
<b>Группа 1 (<math>\lambda_{\text{макс}}=70</math> мм)</b>							
11	97	7	80	126	4,5	6,5	0,722
12	197	9		158	6,5	8,5	0,355
13	292	10		168	7	9	0,240
14	514	12		206	9	11	0,136
15	815	16	120	184	5	7	0,086
16	1155	18		216	6	8	0,061
17	1562	22	160	203	4	6	0,045
18	2050	24		225	4,5	6,5	0,034
19	2420	26		268	5,5	7,5	0,029
20	3420	30	176	276	5	7	0,020
24	4620	32		296	5	7	0,015
25	5720	36	210	264	3,5	5,5	0,012

Основными характеристиками пружины являются максимально допустимая нагрузка на нее  $P_{\text{макс}}$  и максимально допустимая ее осадка (сжатие) под воздействием этой нагрузки  $\lambda_{\text{макс}}$  или по ОСТ 108.764.01-80 соответственно сила пружины при рабочей деформации  $P_2$  и рабочая деформация пружины  $F_2$ . Отношение  $P_{\text{макс}}/\lambda_{\text{макс}}$  называется жесткостью пружины, а обратная величина — ее податливостью.

Применяющиеся для трубопроводов пружины по МВН 049-63 делятся по своей максимальной осадке на две группы: первой группе соответствуют пружины с  $\lambda_{\text{макс}}=70$  мм, второй группе — с  $\lambda_{\text{макс}}=140$  мм. По обеим нормам каждому значению нагрузки  $P_{\text{макс}}$  ( $P_2$ ) соответствуют две пружины: одна с  $\lambda_{\text{макс}}=70$  мм, вторая с  $\lambda_{\text{макс}}=140$  мм. Жесткость пружины с  $\lambda_{\text{макс}}=140$  мм вдвое меньше, чем с  $\lambda_{\text{макс}}=70$  мм.

Сжатие пружины в пределах ее прогиба от 0 до  $\lambda_{\text{макс}}$  пропорционально приложенной к ней нагрузке и является для каждого типа пружины величиной постоянной, т. е.

$$\frac{\lambda_{\text{макс}}}{P_{\text{макс}}} = \frac{\lambda_{\text{раб}}}{P_{\text{раб}}} = \frac{\lambda_{\text{монт}}}{P_{\text{монт}}} = K_{\text{пр}}$$

где  $K_{\text{пр}}$  — коэффициент пружины (удельный прогиб пружины на 1 кгс нагрузки), мм/кгс (см. табл. 6.5 и 6.6).

Пружины с максимально допустимым прогибом  $\lambda_{\text{макс}}=70$  мм можно применять при тепловых (вертикальных) перемещениях трубопровода  $\Delta y=0 \div 25$  мм, а пружины с  $\lambda_{\text{макс}}=140$  мм — при  $\Delta y=26 \div 50$  мм. При вертикальных перемещениях трубопровода, больших  $\pm 50$  мм, применяют последовательную установку двух и более пружин. При выборе количества и групп таких пружин необходимо, чтобы сумма сочетаний допускаемых ими максимальных тепловых (рабочих) прогибов, т. е. сумма сочетаний чисел 25 и 50 (или 50 и 50), была равна или превышала (в пределах числа 25) требуемую величину  $\Delta y$ , которая затем распределяется на каждую из выбранных пружин пропорционально значениям  $\lambda_{\text{макс}}$ .

Для возможности проведения регулировки пружин пружинных опор на монтаже следует в аксонометрической схеме данного трубопровода, а также на чертеже пружинной опоры указывать высоту выбранной пружины: в свободном состоянии (ненагруженную) —  $H_{\text{св}}(H_0)$ ; монтажную высоту —  $H_{\text{монт}}$ ; рабочую высоту —  $H_{\text{раб}}$ . Свободная высота пружины берется по ее отраслевому стандарту, высоты  $H_{\text{раб}}$  и  $H_{\text{монт}}$  определяются как разность между  $H_{\text{св}}$  пружины и ее сжатием соответственно в рабочем и монтажном состояниях. Вертикальные перемещения трубопроводов  $\Delta y$  при нагреве, направленные вверх, принимаются со знаком плюс, направленные вниз — со знаком минус (рис. 6.11). В первом случае при остывании трубопровода нагрузка пружины возрастает, во втором случае она уменьшается.

Имея подсчитанную рабочую нагрузку опоры  $P_{\text{раб}}$  (см. § 6.4) и тепловое перемещение точки трубопровода  $\Delta y$ , в которой устанавливается опора, по отраслевому стандарту на пружины (см. табл. 6.5 или 6.6) выбираем пружину с ближайшей большей нагрузкой  $P_{\text{макс}}$  по сравнению с имеющейся нагрузкой  $P_{\text{раб}}$  и группу пружины ( $\lambda_{\text{макс}}$ ) в зависимости от  $\Delta y$ . Затем определяем  $\lambda_{\text{раб}}$  и  $\lambda_{\text{монт}}$ , мм, по формулам

$$\lambda_{\text{раб}} = P_{\text{раб}} K_{\text{пр}} \text{ или } \lambda_{\text{раб}} = P_{\text{раб}} \frac{\lambda_{\text{макс}}}{P_{\text{макс}}};$$

$$\lambda_{\text{монт}} = \lambda_{\text{раб}} \pm \Delta y,$$

где  $K_{\text{пр}}$  — коэффициент пружины (см. табл. 6.5, 6.6);  $\Delta y$  — тепловое перемещение точки крепления трубопровода, мм. Значения  $\lambda_{\text{раб}}$  и  $\lambda_{\text{монт}}$  должны быть меньше  $\lambda_{\text{макс}}$  выбранной пружины.

Принятая к установке пружина должна быть проверена по ее прогибу, при этом должны быть выдержаны следующие неравенства:

Таблица 6.6. Пружины по ОСТ 108.764.01-80

Исполнение	Сила пружины при рабочей деформации $F_2$ , кгс	Номинальный диаметр, мм		Шаг навитки $t$ , мм	Высота пружины в свободном состоянии $H_0$ , мм	Развернутая длина $L$ , мм	Число витков		Масса, кг	Коэффициент пружины $K_{пр}$ , мм/кгс
		прутка $d$	пружины (внутренней) $D_1$				рабочее $n$	полное $n_1$		
<i>Пружины на рабочую деформацию <math>F_2=70</math> мм</i>										
01	128	10	93	25,5	143	2280	5	7	1,40	0,547
02	278	12		29,5	151	2160	4,5	6,5	1,92	0,252
03	534	16	113	35,5	166	2440	4	6	3,86	0,131
04	816	18		37,5	177	2480			4,96	0,086
05	1190	20		39,5	188	2520			6,22	0,059
06	1666	22		42,0	201	2560			7,63	0,042
07	2005	24			226	2810	4,5	6,5	9,98	0,035
08	2686	28	138	51,0	221	2880	3,5	5,5	13,91	0,026
09	3325	32			277	3490	4,5	6,5	22,02	0,021
10	4080	34		53,0	289	3530			25,20	0,017
11	4955	36		55,0	304	3570			28,52	0,014
12	5960	40	165	64,0	284	3560	3,5	5,5	35,10	0,012
<i>Пружины на рабочую деформацию <math>F_2=140</math> мм</i>										
13	128	10	93	25,5	270	3900	10	12	2,40	1,094
14	278	12		29,5	284	3650	9	11	3,24	0,504
15	534	16	113	35,5	308	4070	8	10	6,43	0,262
16	816	18		37,5	327	4130			8,26	0,172
17	1190	20		39,5	346	4200			10,37	0,118
18	1666	22		42,0	369	4260			12,70	0,084
19	2005	24			414	4760	9	11	16,40	0,070
20	2686	28	138	51,0	399	4720	7	9	22,80	0,052
21	3325	32			507	5900	9	11	37,23	0,042
22	4080	34		53,0	528	5970			42,57	0,034
23	4955	36		55,0	549	6040			48,30	0,028
24	5960	40	165	64,0	508	5830	7	9	57,50	0,023

для трубопроводов, перемещающихся при нагреве вниз,

$$H_{\text{раб}} > 1,05 H_{\text{сж}}; \quad (6.3)$$

для трубопроводов, перемещающихся вверх,

$$H_{\text{новт}} > 1,05 H_{\text{сж}}; \quad (6.4)$$

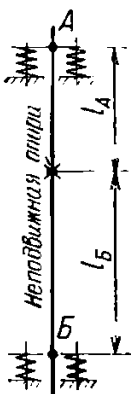


Рис. 6.12. Схема вертикальных перемещений для пружинных опор трубопроводных стояков

где  $H_{\text{сж}} = dn_1$  — длина пружины, сжатой до соприкосновения витков, мм; 1,05 — коэффициент запаса;  $d$  — диаметр прутка пружины, мм;  $n_1$  — полное число витков пружины,

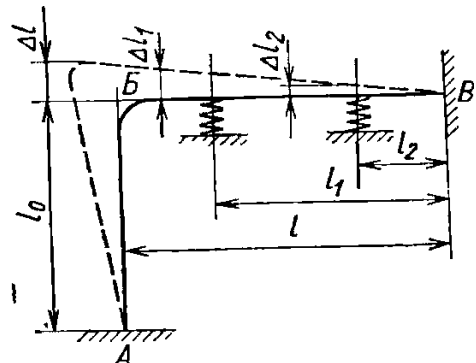


Рис. 6.13. Схема вертикальных перемещений для пружинных опор при Г-образном участке трубопровода

жины (значения  $d$  и  $n_1$  приведены в табл. 6.5 и 6.6).

Рабочая и монтажная высоты пружины соответственно равны:

$$H_{\text{раб}} = H_{\text{св}} - \lambda_{\text{раб}};$$

$$H_{\text{монт}} = H_{\text{св}} - \lambda_{\text{монт}}.$$

При несоблюдении соотношений (6.3) и (6.4) для выбранной пружины следует принять следующую пружину с большим  $R_{\text{макс}}$  или взять пружину другой группы и повторно произвести расчет и проверку.

Кроме того, возможен выбор пружин для пружинных опор при помощи так называемого значения структуры пружинной цепи  $Z$  при известной максимальной ее нагрузке и жесткости [7].

Определение вертикальных перемещений неотвественных трубопроводов для расчета пружин пружинных опор может выполняться следующим образом:

1) для вертикальных трубопроводов (рис. 6.12) перемещения точек  $A$  и  $B$ ,  $\Delta y$ , мм, определяются соответственно по формулам

$$\Delta y_A = -\delta_t l_A;$$

$$\Delta y_B = \delta_t l_B,$$

где  $\delta_t$  — удельные тепловые удлинения (см. табл. 5.1), мм;  $l_A$  и  $l_B$  — расстояния от неподвижной опоры до пружинной опоры, мм;

2) для Г-образного трубопровода  $ABV$  (рис. 6.13), имеющего неподвижную опору на стояке (точка  $A$ ), вертикальные перемещения точек крепления пружинных опор на горизонтальном плече  $BV$  определяются по закону подобия прямоугольных треугольников с катетами  $\Delta l$  и  $l$ ,  $\Delta l_1$  и  $l_1$ ,  $\Delta l_2$  и  $l_2$ . Вертикальные перемещения  $\Delta l$ ,  $\Delta l_1$  и  $\Delta l_2$ , мм, рассматриваемых точек плеча  $BV$  определяются по формулам

$$\Delta l = nl; \Delta l_1 = nl_1 \text{ и } \Delta l_2 = nl_2,$$

где  $n = \delta_t l_0 / l$ .

Имеющимся в действительности в этом случае искривлением плеча  $BV$  при изгибе от нагрева трубопровода из-за небольшого его размера пренебрегают, а в пружинных опорах для компенсации получающейся при этом погрешности прогиба предусматривают средства для регулирования затяга пружин при монтаже;

3) для Z-образного трубопровода  $ABVG$  (рис. 6.14), имеющего неподвижную опору на стояке  $BV$ . расчет вертикальных

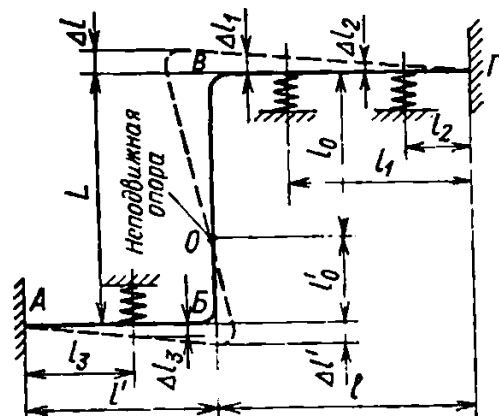


Рис. 6.14. Схема вертикальных перемещений для пружинных опор при Z-образном участке трубопровода

перемещений  $\Delta l_1$ ,  $\Delta l_2$ ,  $\Delta l_3$ , точек плеч  $AB$  и  $BG$ , поддерживаемых пружинами, выполняется после предварительного определения положения нейтральной точки  $O$  на стояке, в которой упомянутые перемещения равны нулю (в точке  $O$  наиболее целесообразно располагать неподвижную опору). Координаты нейтральной точки  $O$   $l_0$  и  $l'_0$ , м, определяются по формулам

$$l_0 = \frac{Ll^2}{l^2 + (l')^2} \text{ и } l'_0 = L - l_0.$$

После определения положения точки  $O$  перемещения точек крепления пружин на горизонтальных плечах трубопровода находятся путем условного переноса в точку  $O$  конца  $A$  трубопровода, изображенного на рис. 6.13. Расчет выполняется отдельно для участков  $OBV$  и  $OBA$  (рис. 6.14), расположенных по обе стороны от нейтральной точки  $O$ .

Тепловые перемещения для неотвественных трубопроводов могут быть более точно определены способом «куба плеч», разработанным ВГПИ «Теплоэлектропроект».

При параллельной установке в одной опоре нескольких пружин суммарная нагрузка делится на каждую из них поровну, и каждая из них прогибается на полную величину перемещения поддерживаемого ими трубопровода.

При последовательной установке в одной опоре нескольких пружин каждая из них работает с полной нагрузкой, а общий прогиб распределяется между всеми пружинами пропорционально  $\lambda_{\text{макс}}$ .

## Раздел седьмой

### ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ СТАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

#### 7.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Необходимость выполнения тепловой изоляции для подавляющего большинства

станционных трубопроводов определяется требованием к сокращению тепловых потерь, обеспечению допустимого падения температуры теплоносителя трубопровода,

предохранению обслуживающего персонала от ожогов.

По нормативным требованиям тепловой изоляции подлежат:

1) трубопроводы с температурой теплоносителя выше  $45^{\circ}\text{C}$ , расположенные в помещениях, а также вне помещений, но в пределах доступа обслуживающего персонала;

2) трубопроводы с температурой теплоносителя выше  $60^{\circ}\text{C}$ , расположенные вне помещений;

3) выхлопные и временные трубопроводы в местах, доступных для обслуживающего персонала;

4) в необходимых случаях трубопроводы холодной воды, расположенные в помещениях, для предотвращения в холодное время года конденсации на их поверхности влаги из окружающего воздуха;

5) трубопроводы, расположенные вне помещений, с целью предотвращения замерзания при случайных прекращении движения в них воды.

Теплоизоляционные материалы и изделия, применяемые для изоляции трубопроводов на тепловых электростанциях, должны иметь высокие теплоизоляционные свойства, сохраняющиеся при длительном воздействии температуры изолируемой поверхности, должны быть недифицитными, негоряемыми, транспортабельными, биоустойчивыми, не должны выделять при хранении и эксплуатации вещества, вызывающие коррозию изолируемых поверхностей и вредно влияющие на здоровье людей.

Материалы и изделия должны обладать свойствами, способствующими выполнению теплоизоляционных конструкций промышленными методами. Теплоизоляционные конструкции не должны препятствовать температурным деформациям трубопроводов при их рабочем состоянии, разогреве и остывании и выдерживать вибрацию. Они не должны подвергаться растрескиванию и разрушению.

Выбор теплоизоляционных конструкций производится с учетом трассировки трубопровода, а также исходя из требований условий эксплуатации и монтажа. Для элементов трубопроводов (арматуры, фланцевых соединений и т. д.), требующих в процессе эксплуатации систематического наблюдения, следует применять сборно-разборные изоляционные конструкции.

Теплоизоляционные конструкции стационарных трубопроводов состоят из: основного теплоизоляционного слоя, обеспечивающего нормальную работу изолируемых трубопроводов; защитного покрытия, предохраняющего основной теплоизоляционный слой от атмосферных осадков, механических повреждений, воздействия агрессивных сред и т. д.; крепежных деталей, применяемых для крепления теплоизоляционных конструкций и их защитного покрытия к трубам, а иногда и для повышения прочности конструкции изоляции в целом.

Температура на поверхности изолированных трубопроводов при температуре окружающего воздуха в помещении  $+25^{\circ}\text{C}$  не должна превышать: для трубопроводов с температурой среды до  $500^{\circ}\text{C}$  включительно  $+45^{\circ}\text{C}$ , для трубопроводов с температурой среды выше  $500^{\circ}\text{C}$  (до  $650^{\circ}\text{C}$ )  $+48^{\circ}\text{C}$ . Допускаемая температура наружных поверхностей теплоизоляционных конструкций с покрытием из металлических листов составляет  $50\text{--}60^{\circ}\text{C}$ .

Для трубопроводов применяются теплоизоляционные конструкции с основным слоем из жестких теплоизоляционных изделий в виде перлитцементных и известково-кремнеземистых скорлуп и сегментов, изделий из волокнистых теплоизоляционных материалов — минераловатных и стекловатных плит, матов (матрацев), полос, жгутов, асбестовых, минераловатных, стекловатных шнуров и асбопухшура.

Теплоизоляционные конструкции в зависимости от температуры среды трубопровода, номенклатуры и вида теплоизоляционных изделий выполняются однослойными и двухслойными. Трехслойные конструкции допускаются только как исключение.

Для трубопроводов, как правило, предельная толщина теплоизоляционных конструкций с учетом нормативных максимальных нагрузок на опоры и подвески трубопровода не должна превышать 200 мм.

Толщина основного слоя тепловой изоляции трубопроводов является расчетной величиной, зависящей от технических требований, предъявляемых к ней. Наиболее часто толщины основного слоя тепловой изоляции определяют, исходя из следующих условий: соблюдение определенных норм потерь тепла; поддержание заданной температуры на поверхности изоляционной конструкции; обеспечение максимально допустимого падения температуры теплоносителя; соблюдение определенных габаритов и массы теплоизоляционных конструкций. Встречаются случаи, когда изолированный трубопровод должен удовлетворять одновременно двум и более требованиям одновременно. В большинстве случаев расчеты ведут, исходя из норм потерь теплоты, установленных для разных диаметров трубопровода в зависимости от температуры теплоносителя. Нормы потерь теплоты изолированными поверхностями трубопроводов внутри помещения приведены в табл. 7.1.

Допускаемые потери теплоты, толщина изоляционного слоя и пределы допустимых температур теплоносителя для одной и той же толщины изоляционного слоя определяются в зависимости от ценности теплоты среды, транспортируемой трубопроводом. В связи с этим рекомендации по изоляции даются для двух групп трубопроводов: 1) при полной стоимости теплоты — это трубопроводы в котельной и машинном зале, работающие на остром паре, и трубопроводы питательной воды после подогревателей высокого давления; 2) при неполной стоимости теплоты — это трубопроводы

Таблица 7.1. Нормы потерь теплоты изолированными поверхностями трубопроводов внутри помещений тепловых электростанций, ккал/(м·ч)

Наружный диаметр изолированных труб, мм	Температура теплоносителя, °С																			
	50	75	100	125	150	200	225	250	300	330	350	400	450	480	500	530	560	570	600	610
10	7	12	18	25	30	41	47	53	64	71	76	87	98	105	110	115	121	126	133	135
20	10	16	23	30	37	50	57	64	77	85	90	104	117	125	131	138	145	150	158	162
32	12	20	28	35	43	58	66	74	90	99	105	120	136	145	151	160	167	174	183	186
48	13	22	31	40	49	65	75	84	102	112	119	136	154	164	171	180	190	197	208	210
57	14	23	32	43	53	70	80	90	108	120	127	145	165	176	183	192	202	209	220	225
76	15	25	37	49	58	78	89	99	123	132	141	162	183	197	203	211	225	232	245	249
89	16	27	39	52	62	82	94	105	123	140	149	170	193	206	215	225	236	245	259	263
108	22	34	45	57	68	90	102	113	137	151	160	182	205	218	227	238	250	260	273	277
133	27	40	53	65	76	101	111	123	152	166	176	201	226	241	250	261	275	285	300	304
159	31	45	60	72	84	112	125	140	166	181	192	220	247	262	273	285	300	310	325	330
194	35	50	60	80	93	124	138	153	182	200	212	242	273	290	301	314	330	342	360	367
219	38	52	70	85	100	132	150	165	196	214	227	260	290	308	320	335	353	366	383	390
273	42	59	78	95	111	146	165	183	218	239	253	289	323	344	358	375	394	408	428	435
325	45	65	85	104	122	160	180	200	240	263	278	317	355	379	396	414	435	450	473	480
377	50	70	92	112	131	175	195	218	260	284	300	344	385	411	428	449	470	487	514	520
426	53	75	98	120	140	190	210	235	280	306	322	370	415	438	460	484	505	523	554	560
478	60	83	109	133	155	205	228	253	303	330	340	400	448	477	496	523	545	564	595	603
529	65	90	120	145	170	222	245	270	325	355	375	430	480	510	531	560	585	605	635	645
630	82	110	140	170	195	253	280	310	370	403	425	485	540	576	600	628	658	680	710	725
720	95	125	160	190	220	280	310	340	405	441	470	530	590	629	655	682	715	740	775	790
820	110	145	180	220	250	315	350	380	445	487	515	580	645	684	710	642	775	805	840	855
920	135	165	205	240	275	345	380	415	480	525	555	625	695	734	760	798	835	860	900	915
1020	150	190	225	265	300	370	410	450	525	570	600	670	745	787	815	853	890	920	960	980
1420	210	230	300	350	400	500	540	585	680	740	780	870	970	1024	1060	1110	1155	1200	1250	270
1820	265	320	370	430	490	600	660	720	830	895	940	1060	1170	1236	1280	1340	1400	1440	1500	1530
2000	290	355	410	480	540	660	720	780	900	998	1030	1150	1270	1348	1400	1455	1510	1560	1640	1166

Примечания: 1. Приведенные нормы разработаны для объектов с температурой окружающего воздуха 25°С, но с допустимым приближением могут применяться также для температур от 20 до 30°С.

2. Таблицей предусмотрены потери теплоты для трубопроводов внутри помещений, в которых стоимость теплоты принимается по полной стоимости теплоты острого пара.

3. Для трубопроводов, в которых стоимость теплоты принимается по неполной стоимости теплоты острого пара, значения, приведенные в таблице, умножаются на следующие коэффициенты:

Диаметр, мм 32 108 273 720 1020 2000 (и плоская стенка)  
Коэффициент 1,01 1,06 1,09 1,12 1,16 1,22

с теплоносителем, энергия которого уже частично использована, а именно трубопроводы регулируемых и нерегулируемых отборов, основного конденсата турбин, различные дренажи, трубопроводы периодической и непрерывной продувки, слива и перелива и др.

Приведенные в табл. 7.1 потери теплоты даны для трубопроводов внутри помещения, стоимость теплоты в которых принимается по полной стоимости теплоты острого пара. Для трубопроводов с частичным использованием энергии транспортируемой среды данные таблицы должны применяться с коэффициентом, приведенным в примечании к ней.

Нормы потерь теплоты изолированными поверхностями тепловых электростанций на открытом воздухе — см. [22, с. 192].

## 7.2. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

Расчет толщины основного слоя изоляционной конструкции трубопровода [22] трудоемок, поэтому при ее выборе следует руководствоваться схемой применения теп-

лоизоляционных конструкций для оборудования и трубопроводов тепловых электростанций. В табл. 7.2 приведены рекомендации из этой схемы, относящиеся к стационарным трубопроводам.

Упомянутая схема позволяет сократить время, требующееся на выполнение расчетов основного слоя изоляции, и упорядочить выбор типа изоляционных конструкций для одинаковых условий ее работы.

В табл. 7.3—7.6 приведены объемы и площади поверхностей изоляции соответственно на 1 м длины мазутопровода со спутником, участков трубопроводов длиной 0,5 м в местах установки бобышек для измерения ползучести металла и в местах сварных швов, на единицу арматуры (фланцевой), на одно фланцевое соединение трубопроводов.

В табл. 7.7 приведены перечень ГОСТ и ТУ на теплоизоляционные конструкции и материалы, а также коэффициенты их уплотнения.

В качестве покрытий основного слоя изоляции стационарных трубопроводов применяются, как правило, металлические конструкции. Для трубопроводов диаметром 32—1420 мм, расположенных в глав-



Таблица 7.2. Схема применения теплоизоляционных конструкций для трубопроводов тепловых электростанций

Наружный диаметр труб $D_n$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м	
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины трубопровода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминиевых сплавов <sup>1</sup> марки АД1-Н толщиной, мм, и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная <sup>2</sup> , толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>		
16	50—220	50—220	Асбопхшнур, $d=25$ мм	1	20	0,0023 (1,4)	См. примечание 3	0,7 (1,1)	0,176	$\frac{1,5}{2,5}$	
	221—570	221—570	Асбестовый шнур, $d=25$ мм	1	20	0,0023 (1,8)		0,7 (1,1)	0,176	$\frac{1,9}{2,9}$	
20	50—220	50—220	Асбопхшнур, $d=25$ мм	1	20	0,0025 (1,5)		0,7 (1,2)	0,188	$\frac{1,6}{2,7}$	
	221—570	221—570	Асбестовый шнур, $d=25$ мм	1	20	0,0025 (2,0)		0,7 (1,2)	0,188	$\frac{2,1}{3,2}$	
25	50—220	50—220	Асбопхшнур, $d=25$ мм	1	20	0,0028 (1,7)		0,7 (1,3)	0,204	$\frac{1,8}{3,0}$	
	221—570	221—570	Асбестовый шнур, $d=25$ мм Асбопхшнур, $d=25$ мм	2	20 20	0,0028 (2,2) 0,0041 (3,2)		0,7 (2,0)	0,330	$\frac{5,5}{7,4}$	
28	50—220	50—220	Асбопхшнур, $d=25$ мм	1	20	0,0030 (1,8)		0,7 (1,3)	0,214	$\frac{1,9}{3,1}$	
	221—570	221—570	Асбестовый шнур, $d=25$ мм Асбопхшнур, $d=25$ мм	2	20 20	0,0030 (2,3) 0,0043 (3,3)		0,7 (2,1)	0,340	$\frac{5,7}{7,7}$	
32	50—400	50—400	Шнур минераловатный в оплетке из ровинга, $d=60$ мм	1	60	0,0173 (4,3)		0,7 (1,0)	0,7 (2,9)	0,477	$\frac{5,3}{7,2}$
	401—570	401—570	Шнур минераловатный в оплетке из стальной проволоки, $d=60$ мм	1	60	0,0173 (4,3)		0,7 (1,0)	0,7 (2,9)	0,477	$\frac{5,3}{7,2}$
44,5	50—400	50—400	Шнур минераловатный в оплетке из ровинга, $d=60$ мм	1	60	0,0196 (4,9)	0,7 (1,1)	0,7 (3,1)	0,515	$\frac{6,0}{8,0}$	
	401—570	401—570	Шнур минераловатный в оплетке из стальной проволоки, $d=60$ мм	1	60	0,0196 (4,9)	0,7 (1,1)	0,7 (3,1)	0,515	$\frac{6,0}{8,0}$	

Наружный диаметр труб $D_H$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины трубопровода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминиевых сплавов*1 марки АД1-Н толщиной, мм, и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная**2, толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
57	50—150	50—200	Скорлупы известково-кремнеземистые прессованные 57—160	1	50	0,0170 (6,4)	0,7 (1,1)	0,7 (3,0)	0,500	$\frac{7,5}{9,4}$
	151—350	201—400	Скорлупы перлитцементные 58—240	1	90	0,0430 (13,0)	0,7 (1,65)	0,7 (4,5)	0,750	$\frac{14,65}{17,50}$
	351—570	401—570	Скорлупы перлитцементные 58—240 Плиты минераловатные мягкие на синтетическом связующем, $\delta=50$ мм	2	90 40	0,0430 (13,0) 0,0350 (4,0)	0,7 (2,2)	0,7 (6,0)	1,000	$\frac{19,2}{23,0}$
76	50—200	50—250	Скорлупы или цилиндры минераловатные на синтетическом связующем, $\delta=50$ мм	1	50	0,020 (3,0)	0,7 (1,2)	0,7 (3,3)	0,550	$\frac{4,2}{6,3}$
	201—340	251—400	Скорлупы перлитцементные 78—275	1	100	0,055 (16,5)	0,7 (1,9)	0,7 (5,2)	0,870	$\frac{18,4}{21,7}$
	341—570	401—570	Скорлупы перлитцементные 78—275 Плиты минераловатные мягкие на синтетическом связующем, $\delta=50$ мм	2	100 40	0,055 (16,5) 0,040 (4,5)	0,7 (2,5)	0,7 (6,7)	1,120	$\frac{23,5}{27,7}$
89	50—200	50—250	Скорлупы или цилиндры минераловатные на синтетическом связующем, $\delta=50$ мм	1	50	0,022 (3,3)	0,7 (1,3)	0,7 (3,6)	0,600	$\frac{4,6}{6,9}$
	201—570	251—570	Скорлупы перлитцементные 110—275 (с пригонкой) Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм	2	80 60	0,048 (14,5) 0,063 (11,5)	0,7 (2,7)	0,7 (7,5)	1,240	$\frac{28,7}{33,5}$
108	50—200	50—225	Скорлупы перлитцементные 110—275	1	80	0,048 (14,5)	0,7 (1,9)	0,7 (5,2)	0,870	$\frac{16,4}{19,7}$

Наружный диаметр труб $D_H$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины трубопровода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминиевых сплавов*1 марки АД1-Н толщиной, мм и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная**2, толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
108	201—350	223—400	Скорлупы перлитцементные 110—275 Плиты минераловатные мягкие на синтетическом связующем, $\delta=70$ мм	2	80 55	0,048 (14,5) 0,057 (6,5)	0,7 (2,7)	0,7 (7,3)	1,040	23,7 28,3
	351—570	401—570	Скорлупы известково-кремнеземистые 103—300 Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм	2	95 60	0,061 (13,7) 0,068 (12,3)	0,7 (2,9)	0,7 (8,0)	1,320	28,9 34,0
133	50—150	50—180	Скорлупы перлитцементные 135—275	1	70	0,045 (13,5)	0,7 (1,9)	0,7 (5,2)	0,860	15,4 18,7
	151—225	181—250	Скорлупы перлитцементные 135—320	1	90	0,063 (19,0)	0,7 (2,2)	0,7 (6,0)	1,000	21,2 25,0
	226—500	251—570	Скорлупы известково-кремнеземистые 133—300 Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм	2	80 60	0,056 (12,6) 0,068 (12,3)	0,7 (2,9)	0,7 (8,0)	1,320	27,8 32,9
	501—570	—	Скорлупы известково-кремнеземистые 133—377 Маты минераловатные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм	2	120 55	0,097 (22,0) 0,075 (13,5)	0,7 (3,4)	0,7 (9,2)	1,530	38,9 44,7
150	50—160	50—200	Скорлупы перлитцементные 161—320	1	80	0,050 (18,0)	0,7 (2,2)	0,7 (6,0)	1,000	20,2 24,0
	161—450	201—500	Скорлупы известково-кремнеземистые 159—300 Маты минераловатные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм	2	70 60	0,053 (11,3) — (12,3)	0,7 (2,9)	0,7 (8,0)	—	25,2 31,6
	451—570	501—570	Скорлупы известково-кремнеземистые 159—377 Маты минераловатные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм	2	105 55	0,090 (20,3) 0,075 (13,5)	0,7 (3,4)	0,7 (9,2)	1,530	37,2 43,0

Наружный диаметр труб $D_n$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины трубопровода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминиевых сплавов*1 марки АД1-Н толщиной, мм, и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная*2, толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
194	50—140	50—160	Плиты минераловатные мягкие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	1	50	0,038 (4,3)	0,7 (2,0)	0,7 (5,5)	0,920	$\frac{6,3}{9,8}$
	141—200	161—225	То же, $\delta=80$ мм	1	65	0,053 (6,0)	0,7 (2,2)	0,7 (6,1)	1,020	$\frac{8,2}{12,1}$
	201—300	226—300	То же а два слоя по 50 мм (50+50)	2	90	0,080 (9,0)	0,7 (2,6)	0,7 (7,0)	1,170	$\frac{11,6}{16,0}$
	301—450	301—500	Скорлупы известково-кремнеземистые 219—377 Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм	2	75 55	0,070 (15,7) 0,075 (13,5)	0,7 (3,4)	0,7 (9,2)	1,530	$\frac{32,6}{38,4}$
	451—570	501—500	Скорлупы известково-кремнеземистые 219—470 Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм	2	120 55	0,134 (30,0) 0,091 (16,9)	0,7 (4,5)	0,7 (12,7)	1,820	$\frac{51,4}{59,6}$
219	50—125	50—150	Плиты минераловатные мягкие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	1	50	0,042 (4,7)	0,8 (2,2)	0,8 (6,0)	1,000	$\frac{6,9}{10,7}$
	126—175	151—200	То же, $\delta=80$ мм	1	65	0,058 (6,5)	0,8 (2,4)	0,8 (6,6)	1,100	$\frac{8,9}{13,1}$
	176—250	201—300	То же в два слоя по 60 мм (60+60)	2	95	0,094 (10,6)	0,8 (2,9)	0,8 (7,8)	1,300	$\frac{13,5}{18,4}$
	251—450	301—500	Скорлупы известково-кремнеземистые 219—377 Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм	2	75 55	0,072 (15,7) 0,075 (13,5)	0,8 (3,4)	0,8 (9,2)	1,530	$\frac{32,6}{38,4}$

Наружный диаметр труб $D_n$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоотдачи	при неполной стоимости теплоотдачи	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины трубопровода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминированных сплавов <sup>01</sup> марки АД1-П1 толщиной, мм, и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная <sup>02</sup> толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
219	451—570	501—570	Скорлупы известково-кремнеземистые 219—470	2	120	0,134 (30,0)	0,8 (4,5)	0,8 (12,7)	1,820	51,4 59,6
			Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм		55	0,091 (16,9)				
245	545	—	Сегменты известково-кремнеземистые 245—550	2	150	0,188 (42,5)	0,8 (5,2)	0,8 (14,5)	2,080	66,7 76,0
			Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм		65	0,105 (19,0)				
273	50—110	50—125	Сегменты перлитцементные 280—430	1	75	0,084 (25,2)	0,8 (3,0)	0,8 (8,1)	1,350	28,2 33,3
		111—300	126—350	Сегменты перлитцементные 280—430 Плиты минераловатные мягкие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	2	75 45	0,084 (25,2) 0,067 (7,5)	0,8 (4,1)	0,8 (11,4)	1,630
	301—450	351—500	Сегменты перлитцементные 280—430	2	75	0,084 (25,2)	0,8 (4,6)	0,8 (12,7)	1,820	50,5 58,6
			Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=80$ мм		75	— (20,7)				
451—570	501—570	Скорлупы известково-кремнеземистые 273—470 Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=80$ мм	1	95 75	0,112 (25,2) 0,128 (23,0)	0,8 (4,9)	0,8 (13,6)	1,950	53,1 61,8	
325	50—100	50—120	Сегменты перлитцементные 327—477	1	75	0,074 (28,2)	0,8 (3,3)	0,8 (9,1)	1,510	31,5 37,3
	101—160	121—200	Сегменты перлитцементные 327—525	1	100	0,134 (40,0)	0,8 (4,1)	0,8 (11,5)	1,650	44,1 51,5

Наружный диаметр труб $D_n$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины трубопровода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминированных сталей марки АД1-Н толщиной, мм, и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная <sup>23</sup> , толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
325	161—300	201—350	Сегменты перлитцементные 327—477 Плиты минераловатные на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	2	75 45	0,094 (28,2) 0,074 (8,3)	0,8 (4,4)	0,8 (12,4)	1,770	40,9 48,9
	301—400	351—450	Сегменты перлитцементные 327—527 Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм	2	100 55	0,134 (40,0) 0,101 (18,1)	0,8 (5,0)	0,8 (14,0)	2,000	63,1 72,1
	401—570	451—570	Сегменты известково-кремнеземистые 325—580 Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм	2	125 55	0,177 (40,0) 0,110 (19,8)	0,8 (5,4)	0,8 (15,2)	2,170	65,2 75,0
377	50—75	50—100	Плиты минераловатные мягкие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	1	45	0,060 (6,7)	0,8 (3,2)	0,8 (8,8)	1,470	9,9 15,5
	76—125	101—150	Плиты минераловатные мягкие на синтетическом связующем, $\delta=80$ мм	1	60	0,083 (9,3)	0,8 (3,4)	0,8 (9,4)	1,560	12,7 18,7
	126—150	151—200	Сегменты перлитцементные 380—580	1	100	0,150 (45,0)	0,8 (4,6)	0,8 (12,7)	1,820	49,6 57,7
	151—200	201—250	Сегменты известково-кремнеземистые 377—580	1	100	0,150 (33,8)	0,8 (4,6)	0,8 (12,7)	1,820	38,4 46,5
	201—360	251—450	Сегменты перлитцементные 380—580 Плиты минераловатные полужесткие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	2	100 55	0,150 (45,0) 0,110 (12,4)	0,8 (5,4)	0,8 (15,2)	2,170	62,8 72,6

Наружный диаметр труб $D_n$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины тр.провода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминевых сплавов*1 марки АД1-Н толщиной, мм, и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная**2, толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
377	361—500	451—570	Сегменты известково-кремнеземистые 377—580 Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0.5, $\delta=60$ мм	2	100 55	0,150 (33,8) 0,110 (19,8)	0,8 (5,4)	0,8 (15,2)	2,170	59,0 68,8
	501—570	—	Сегменты известково-кремнеземистые 377—620 Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0.5, $\delta=80$ мм	2	120 75	0,187 (42,0) 0,164 (29,6)	0,8 (6,0)	0,8 (17,0)	2,420	77,6 88,6
426	50—80	50—110	Сегменты перлитцементные 430—580	1	75	0,118 (35,5)	0,8 (4,5)	0,8 (12,7)	1,820	40,0 48,2
	81—200	111—230	Сегменты известково-кремнеземистые 426—620	1	95	0,153 (34,4)	0,8 (4,9)	0,8 (13,6)	1,950	39,3 48,0
	201—450	231—500	Сегменты известково-кремнеземистые 426—620 Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0.5, $\delta=60$ мм	2	95 55	0,153 (34,4) 0,118 (21,3)	0,8 (5,7)	0,8 (16,0)	2,300	61,4 71,7
	451—570	501—570	Сегменты известково-кремнеземистые 426—620 Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0.5, $\delta=80$ мм	2	95 75	0,153 (34,4) 0,164 (29,6)	0,8 (6,0)	0,8 (17,0)	2,420	70,0 81,0
465	340	—	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0.5, $\delta=60$ мм То же, $\delta=80$ мм	2	55 75	0,090 (—) 0,153 (44,0)	0,8 (5,7)	0,8 (16,0)	2,280	49,7 60,0
	545—570	—	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0.5, $\delta=100$ , в два слоя (100+100)	2	190	0,391 (70,0)	0,8 (6,6)	0,8 (18,5)	2,650	76,6 88,5

Наружный диаметр тр. б $D_n$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины гр б-провода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминиевых сплавов*1 марки АД1-Н толщиной, мм, и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная**2, толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
550	545—570	—	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=100$ мм, в два слоя (100+100)	2	190	0,442 (80,0)	0,8 (7,3)	0,8 (20,4)	2,920	$\frac{87,3}{100,4}$
478	50—100	50—120	Плиты минераловатные полужесткие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	1	55	0,092 (11,0)	0,8 (4,6)	0,8 (13,0)	1,840	$\frac{15,6}{24,0}$
	101—140	121—160	То же, $\delta=80$ мм	1	75	0,130 (15,6)	0,8 (4,9)	0,8 (13,8)	1,970	$\frac{20,5}{29,4}$
	141—230	161—250	То же, $\delta=60$ мм, в два слоя (60+60)	2	100	0,202 (24,2)	0,8 (5,5)	0,8 (15,3)	2,190	$\frac{29,7}{39,5}$
	231—300	251—300	То же, $\delta=70$ мм, в два слоя (70+70)	2	130	0,247 (29,6)	0,8 (5,8)	0,8 (16,3)	2,310	$\frac{35,4}{45,9}$
	301—400	301—450	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=80$ мм, в два слоя (80+80)	2	150	0,295 (35,4)	0,8 (6,1)	0,8 (17,1)	2,440	$\frac{41,5}{52,5}$
	401—570	451—570	То же, $\delta=100$ мм, в два слоя (100+100)	2	190	0,379 (47,6)	0,8 (6,7)	0,8 (18,8)	2,690	$\frac{54,3}{66,4}$
530	50—100	50—120	Плиты минераловатные полужесткие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	1	55	0,101 (12,1)	0,8 (5,0)	0,8 (14,1)	2,010	$\frac{17,1}{25,2}$
	101—140	121—160	То же, $\delta=80$ мм	1	75	0,142 (17,0)	0,8 (5,3)	0,8 (15,0)	2,130	$\frac{22,3}{32,0}$
	141—230	161—250	То же, $\delta=60$ мм, в два слоя (60+60)	2	110	0,221 (26,5)	0,8 (5,9)	0,8 (16,5)	2,350	$\frac{32,4}{43,0}$
	231—300	251—300	То же, $\delta=70$ мм, в два слоя (70+70)	2	130	0,269 (32,3)	0,8 (6,2)	0,8 (17,5)	2,480	$\frac{38,5}{49,8}$



Наружный диаметр труб $D_n$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины трубопровода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминиевых сплавов*1 марки АД1-Н толщиной, мм, и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная*2, толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
530	301—400	301—450	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=80$ мм, в два слоя (80+80)	2	150	0,320 (58,0)	0,8 (6,5)	0,8 (18,2)	2,600	$\frac{64,5}{76,2}$
	401—570	451—570	То же, $\delta=100$ мм, в два слоя (100+100)	2	190	0,42 (77,0)	0,8 (7,1)	0,8 (20,0)	2,850	$\frac{84,1}{97,0}$
630	50—100	50—120	Плиты минераловатные полужесткие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	1	55	0,119 (14,3)	0,8 (5,8)	0,8 (15,3)	2,330	$\frac{20,1}{30,6}$
	101—140	121—160	То же, $\delta=80$ мм	1	75	0,166 (20,0)	0,8 (6,1)	0,8 (17,2)	2,450	$\frac{26,1}{37,2}$
	141—230	161—250	То же, $\delta=60$ мм, в два слоя (60+60)	2	110	0,256 (30,8)	0,8 (6,7)	0,8 (18,7)	2,670	$\frac{37,5}{49,5}$
	231—300	251—300	То же, $\delta=70$ мм, в два слоя (70+70)	2	130	0,311 (37,3)	0,8 (7,0)	0,8 (19,6)	2,800	$\frac{44,3}{56,9}$
	301—400	301—450	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=80$ мм, в два слоя (80+80)	2	150	0,368 (66,0)	0,8 (7,3)	0,8 (20,4)	2,920	$\frac{73,3}{86,4}$
	401—570	451—570	То же, $\delta=100$ мм, в два слоя (100+100)	2	190	0,490 (88,0)	0,8 (8,0)	0,8 (22,3)	3,180	$\frac{96,0}{110,3}$
	50—100	50—120	Плиты минераловатные полужесткие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	1	55	0,134 (16,1)	0,8 (6,3)	0,8 (17,6)	2,510	$\frac{22,4}{33,7}$
720	101—140	121—160	То же, $\delta=80$ мм	1	75	0,187 (22,4)	0,8 (6,8)	0,8 (19,1)	2,730	$\frac{29,2}{41,5}$
	141—230	161—250	То же, $\delta=60$ мм, в два слоя (60+60)	2	110	0,287 (34,4)	0,8 (7,4)	0,8 (20,7)	2,950	$\frac{41,8}{55,1}$

Наружный диаметр труб $D_n$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °C		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины трубопровода, м <sup>3</sup> , в ее масса, кг	Лист из алюминиевых сплавов*1 марки АД1-Н толщиной, мм и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная**2, толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
720	231—300	251—300	То же, $\delta=70$ мм, в два слоя (70+70)	2	130	0,347 (40,5)	0,8 (7,7)	0,8 (21,5)	3,080	$\frac{48,2}{62,0}$
	301—400	301—450	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=80$ мм, в два слоя (80+80)	2	150	0,410 (74,0)	0,8 (8,0)	0,8 (22,4)	3,200	$\frac{82,0}{96,4}$
	401—570	451—570	То же, $\delta=100$ мм, в два слоя (100+100)	2	190	0,543 (98,0)	0,8 (8,7)	0,8 (24,2)	3,450	$\frac{106,7}{122,2}$
820	50—100	50—120	Плиты минераловатные полужесткие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	1	55	0,151 (18,0)	0,8 (7,3)	0,8 (20,5)	2,920	$\frac{25,3}{38,5}$
	101—140	121—150	То же, $\delta=80$ мм	1	75	0,211 (25,3)	0,8 (7,6)	0,8 (21,4)	3,050	$\frac{32,9}{46,7}$
	141—230	161—250	То же, $\delta=60$ мм, в два слоя (60+60)	2	110	0,321 (38,5)	0,8 (8,2)	0,8 (23,0)	3,270	$\frac{46,7}{61,5}$
	231—300	251—300	То же, $\delta=70$ мм, в два слоя (70+70)	2	130	0,388 (46,5)	0,8 (8,5)	0,8 (23,7)	3,390	$\frac{55,0}{70,2}$
	301—400	301—450	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=80$ мм, в два слоя (80+80)	2	150	0,457 (82,0)	0,8 (8,8)	0,8 (24,6)	3,520	$\frac{90,8}{106,6}$
	401—570	451—570	То же, $\delta=100$ мм, в два слоя (100+100)	2	190	0,603 (109,0)	0,8 (9,4)	0,8 (27,0)	3,770	$\frac{118,4}{136,0}$
	50—100	50—120	Плиты минераловатные полужесткие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	1	55	0,168 (20,3)	0,8 (8,1)	0,8 (22,6)	3,230	$\frac{28,4}{42,9}$
920	101—140	121—160	То же, $\delta=80$ мм	1	75	0,234 (28,0)	0,8 (8,4)	0,8 (23,6)	3,360	$\frac{36,4}{51,6}$

Наружный диаметр труб $D_n$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины трубопровода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминиевых сплавов*1 марки АД1-Н толщиной, мм, и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная*2, толщиной, мм и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
920	141—230	161—250	То же, $\delta=60$ мм, в два слоя (60+60)	2	110	0,355 (42,7)	0,8 (9,0)	0,8 (25,0)	3,580	$\frac{51,7}{67,7}$
	231—300	251—300	То же, $\delta=70$ мм, в два слоя (70+70)	2	130	0,430 (51,6)	0,8 (9,3)	0,8 (26,0)	3,710	$\frac{60,9}{77,6}$
	301—400	301—450	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=80$ мм, в два слоя (80+80)	2	150	0,504 (91,0)	0,8 (9,6)	0,8 (26,8)	3,830	$\frac{100,6}{107,8}$
	401—570	451—570	То же, $\delta=100$ мм, в два слоя (100+100)	2	190	0,656 (118,0)	0,8 (10,2)	0,8 (28,6)	4,080	$\frac{128,2}{146,6}$
1020	50—100	50—120	Плиты минераловатные полужесткие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	1	55	0,186 (22,3)	0,8 (8,9)	0,8 (24,8)	3,550	$\frac{31,2}{47,1}$
	101—140	121—160	То же, $\delta=80$ мм	1	75	0,258 (31,0)	0,8 (9,2)	0,8 (25,6)	3,670	$\frac{40,2}{56,6}$
	141—230	161—250	То же, $\delta=60$ мм, в два слоя (60+60)	2	110	0,390 (47,0)	0,8 (9,7)	0,8 (27,3)	3,890	$\frac{56,7}{74,3}$
	231—300	251—300	То же, $\delta=70$ мм, в два слоя (70+70)	2	130	0,470 (56,0)	0,8 (10,0)	0,8 (28,2)	4,020	$\frac{66,0}{84,2}$
	301—400	301—450	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=80$ мм, в два слоя (80+80)	2	150	0,551 (93,0)	0,8 (10,4)	0,8 (29,0)	4,150	$\frac{109,4}{128,0}$
1220	50—100	50—120	Плиты минераловатные полужесткие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	1	55	0,220 (26,4)	0,8 (10,5)	0,8 (29,3)	4,180	$\frac{36,9}{55,7}$
	101—140	121—160	То же, $\delta=80$ мм	1	75	0,306 (37,0)	0,8 (10,8)	0,8 (30,0)	4,300	$\frac{47,8}{67,0}$
	141—230	161—250	То же, $\delta=60$ мм, в два слоя (60+60)	2	110	0,460 (55,0)	0,8 (11,3)	0,8 (31,6)	4,520	$\frac{66,3}{86,6}$

Наружный диаметр труб $D_n$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины трубопровода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминиевых сплавов <sup>а1</sup> марки АД1-Н толщиной, мм, и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная <sup>а2</sup> , толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
1220	231—300	251—300	То же, $\delta=70$ мм, в два слоя (70+70)	2	130	0,551 (66,0)	0,8 (11,6)	0,8 (32,5)	4,650	$\frac{77,6}{98,5}$
	301—400	301—450	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=80$ мм, в два слоя (80+80)	2	150	0,645 (114,0)	0,8 (12,0)	0,8 (33,5)	4,770	$\frac{126,0}{147,5}$
1420	50—100	50—120	Плиты минераловатные полужесткие на синтетическом связующем, $\delta=60$ мм	1	55	0,255 (30,6)	0,8 (12,0)	0,8 (33,7)	4,810	$\frac{42,6}{64,3}$
	101—140	121—160	То же, $\delta=80$ мм	1	75	0,353 (42,0)	0,8 (12,3)	0,8 (34,5)	4,930	$\frac{54,3}{76,5}$
	141—230	161—250	То же, $\delta=60$ мм, в два слоя (60+60)	2	110	0,530 (64,0)	0,8 (13,0)	0,8 (36,0)	5,150	$\frac{77,0}{100,0}$
	231—300	251—300	То же, $\delta=70$ мм, в два слоя (70+70)	2	130	0,634 (76,0)	0,8 (13,2)	0,8 (37,0)	5,270	$\frac{89,2}{113,0}$
	301—400	301—450	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=80$ мм, в два слоя (80+80)	2	150	0,740 (133,0)	0,8 (13,5)	0,8 (38,0)	5,400	$\frac{146,5}{171,0}$
<i>Магистральные трубопроводы с паровым обогревом</i>										
57—89	60—70	—	Плиты минераловатные мягкие на синтетическом связующем $\delta=50$ мм	1	50	См. табл. 7.3	0,7	0,7	См. табл. 7.3	—
	130—140	—	То же, $\delta=60$ мм	1	60		0,7	0,7		—
108—159	60—70	—	То же, $\delta=60$ мм	1	55		0,7	0,7		—
	130—140	—	То же, $\delta=70$ мм	1	65		0,7	0,7		—
219—325	60—70	—	Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой № 20—0,5, $\delta=60$ мм	1	60		0,8	0,8		—
	130—140	—	То же, $\delta=80$ мм	1	80		0,8	0,8		—

Н ружный диаметр труб $D_H$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины трубопровода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминизированных сплавов <sup>21</sup> марки АД1-Н толщиной, мм, и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная <sup>22</sup> , толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
377—630	60—70	—	То же, $\delta=60$ мм	1	55	См. табл. 7.3	0,8	0,8	См. табл. 7.3	—
377—426	130—140	—	То же, $\delta=80$ мм	1	75		0,8	0,8		
<i>Участки трубопроводов (0,5 м) в местах утаковки бобышек для заграждения металла и в местах сварных швов</i>										
108—426	450—570	—	Матрацы минераловатные прошивные в оболочке из стеклоткани марки КТ-11, $\delta=80$ мм То же в оболочке из стеклоткани марки Т-13, $\delta=80$ мм	2	80	См. табл. 7.4	0,8	0,8	См. табл. 7.4	—
465—1020	450—570	—	Матрацы минераловатные прошивные в оболочке из стеклоткани марки КТ-11, $\delta=100$ мм То же в оболочке из стеклоткани марки Т-13, $\delta=100$ мм	2	95					
<i>Арматура фланцевая и фланцевые соединения</i>										
$D_y$ 25—50	50—100	—	Матрацы минераловатные прошивные в оболочке из стеклоткани марки Т-13, $\delta=50$ мм	1	50	См. табл. 7.5 и 7.6	0,8	0,8	См. табл. 7.5 и 7.6	
	401—570	—	Матрацы минераловатные прошивные в оболочке из стеклоткани марки КТ-11, $\delta=50$ мм	1	50					
$D_y$ 70—80	50—200	—	Матрацы минераловатные прошивные в оболочке из стеклоткани марки Т-13, $\delta=50$ мм	1	50	0,8	0,8			
	201—300	—	То же, $\delta=60$ мм	1	60	0,8	0,8			
	301—400	—	То же, $\delta=80$ мм	1	80	0,8	0,8			
	401—570	—	Матрацы минераловатные прошивные в оболочке из стеклоткани марки КТ-11, $\delta=80$ мм	1	80	0,8	0,8			
$D_y$ 100—200	50—200	—	Матрацы минераловатные прошивные в оболочке из стеклоткани марки Т-13, $\delta=60$ мм	1	60	1,0	0,8			

Наружный диаметр труб $D_H$ , мм	Интервалы температуры теплоносителя, °С		Основной изоляционный слой				Покровный слой изоляционной конструкции			Суммарная масса теплоизоляции с покровным слоем, кг/м
	при полной стоимости теплоты	при неполной стоимости теплоты	Теплоизоляционные изделия и их типоразмеры	Число слоев	Общая толщина, мм	Объем изоляции на 1 м длины трубопровода, м <sup>3</sup> , и ее масса, кг	Лист из алюминиевых сплавов*1 марки АД1-Н толщиной, мм, и его масса, кг/м	Сталь тонколистовая оцинкованная**2, толщиной, мм, и ее масса, кг/м	Площадь поверхности 1 м длины трубопровода, м <sup>2</sup>	
$D_y 100-200$	201-300	—	То же, $\delta=80$ мм	1	80	См. табл. 7.5 и 7.6	1,0	0,8	См. табл. 7.5 и 7.6	—
	301-400	—	То же, $\delta=100$ мм	1	100		1,0	0,8		
	401-570	—	Матрацы минераловатные прошивные в оболочке из стеклоткани марки КТ-11, $\delta=60$ мм То же в оболочке из стеклоткани марки Т-13, $\delta=60$ мм	2	60 55		1,0	0,8		
$D_y 250-1400$	50-150	—	Матрацы минераловатные прошивные в оболочке из стеклоткани марки Т-13, $\delta=70$ мм	1	55	1,0	0,8			
	151-250	—	То же, $\delta=80$ мм	1	75	1,0	0,8			
	251-400	—	То же, $\delta=60$ мм, в два слоя (60+60)	2	110	1,0	0,8			
	401-570	—	Матрацы минераловатные прошивные в оболочке из стеклоткани марки КТ-11, $\delta=80$ мм То же в оболочке из стеклоткани марки Т-13, $\delta=60$ мм	2	75 55	1,0	0,8			

\*1 В главном корпусе.

\*\*2 На открытом воздухе и вспомогательных сооружениях.

Примечания: 1. В графах 7—9 в скобках дана масса соответственно теплоизоляционного изделия, покровного слоя трубопроводов в главном корпусе и на открытом воздухе, кг на 1 м длины трубопровода.

2. В графе 11 в числителе указана суммарная масса изоляции с покровным слоем для трубопроводов в главном корпусе, в знаменателе — для трубопроводов на открытом воздухе.

3. Для трубопроводов диаметром 16, 20, 25 и 28 мм, расположенных в главном корпусе, для всех температур покровный слой изоляционных конструкций выполняется в виде обертки лентой из стеклоткани с последующей окраской краской БТ-177, причем трубопроводы диаметром 25 и 28 мм окрашиваются в два слоя. Масса стеклоткани может быть принята равной примерно 0,1 кг на 1 м длины трубопровода.

4. Масса теплоизоляционного слоя указана для условий эксплуатации. При монтаже масса изоляции из формованных изделий увеличивается за счет содержания влаги: для перлитцементных изделий до 30 %; для известково-кремнеземистых изделий до 70 %.

5. Для трубопроводов, изолируемых с целью предотвращения ожогов, массу теплоизоляционных конструкций следует принимать по нижнему пределу температуры в графе 9.

Таблица 7.3. Объем и площадь поверхности изоляции на 1 м длины мазутопровода со спутником

Диаметр, мм		Толщина изоляции, мм	Объем изоляции, м³	Площадь поверхности изоляции, м²
мазутпровода	трубопровода-спутника			
57	1×25	50	0,022	0,60
	1×32	60	0,027	0,65
76	1×25	50	0,026	0,64
	1×38	60	0,031	0,70
89	1×25	50	0,030	0,69
	1×38	60	0,036	0,80
108	1×32	55	0,038	0,75
	1×38	65	0,043	0,82
133	1×32	55	0,041	0,87
	1×38	65	0,044	0,92
159	1×32	55	0,044	0,97
	1×45	65	0,055	1,03
219	1×32	60	0,060	1,25
	1×45	80	0,083	1,34
273	1×38	60	0,070	1,40
	2×45	80	0,097	1,51
325	1×45	60	0,080	1,55
	2×45	80	0,111	1,68
377	1×45	55	0,080	1,65
	2×45	75	0,120	1,83
425	1×57	55	0,090	1,80
	2×45	75	0,130	2,00
530	1×57	55	0,120	2,40
630	1×57	55	0,130	2,45

ном корпусе, эти покрытия из листов алюминиевых сплавов должны быть толщиной 0,7—0,8 мм, для арматуры и фланцевых соединений — те же листы, но толщиной 0,8—1,0 мм. На открытом воздухе и во вспомогательных помещениях для трубопроводов диаметром 16—1420 мм применяется тонколистовая оцинкованная сталь толщиной 0,7—0,8 мм, а для арматуры и фланцев — толщиной 0,8 мм. Для трубопроводов, находящихся в главном корпусе и имеющих изоляцию в виде асбестовых шнуров, применяется покрытие в виде обертки лентой из стеклянной ткани.

Наружная поверхность изоляции в помещениях и на открытом воздухе должна быть окрашена в условные цвета и иметь надписи.

При покрытии поверхности основного слоя изоляции металлической обшивкой (листами алюминиевых сплавов, оцинкованной стали) окраска обшивки не производится. В этом случае по длине трубопровода наносятся цветные кольца. Условные цвета окраски трубопровода или цветных его колец, а также надписи должны соответствовать Правилам Госгортехнадзора СССР.

Для изоляции трубопроводов с целью предотвращения ожогов обслуживающего персонала следует применять конструкцию изоляции для меньшего интервала температур (см. табл. 7.2).

Для изоляции трубопроводов с целью предотвращения замерзания транспортируемой среды и конденсации влаги на них толщину изоляционного слоя следует определять расчетом, а конструкцию изоляции рекомендуется применять для идентичных по размерам (диаметру) трубопроводов, приведенных в табл. 7.2.

В качестве крепежных деталей и элементов теплоизоляционных конструкций применяются стяжные кольца, различные полки или другие опоры, проволочные каркасы и сетки, бандаж и стяжки. Если приварка крепежных деталей к трубопроводу не допускается, то создается внутренний каркас, устанавливаемый непосредственно на изолируемой поверхности, к нему крепятся проволочные стяжки (усы), скобы и другие детали. Для трубопроводов небольших диаметров внутренний каркас выполняется в виде отдельных проволочных колец, плотно стягиваемых на трубе через определенные интервалы, а для трубопроводов больших диаметров — из секций стяжного бандаж на болтовых соединениях. Для горизонтально проложенных трубопроводов с волокнистыми изоляционными материалами применяются опорные кольца из стальной ленты. Опорные кольца и стяжные бандаж для трубопроводов с температурой среды 450—500°C и выше долж-

Таблица 7.4. Объем и площадь поверхности изоляции участков трубопроводов длиной 0,5 м в местах установки бобышек для измерения ползучести металла и в местах сварных швов

Толщина изоляции, мм	Диаметр трубопровода, мм																
			108	133	159	194	219	273	325	377	425	478	530	630	720	820	920
общая	последняя																
		Объем изоляции, м³															
160	80	0,024	0,027	0,030	0,036	0,038	0,044	0,051	0,058	0,064	—	—	—	—	—	—	—
	80	0,044	0,047	0,050	0,055	0,058	0,064	0,071	0,078	0,084	—	—	—	—	—	—	—
190	95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,090	0,100	0,116	0,129	0,145	0,160	0,176
	95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,116	0,123	0,138	0,152	0,167	0,182	0,197
		Площадь поверхности изоляции, м²															
160	—	0,67	0,71	0,75	0,80	0,85	0,93	1,02	1,10	1,17	—	—	—	—	—	—	—
190	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,36	1,46	1,60	1,74	1,90	2,06	2,21

Т а б л и ц а 7.5. Объем и площадь поверхности изоляции на единицу арматуры (фланцевой)

Толщина изоляции, мм		Диаметр условного прохода, мм																			
общая	по-слой-ная	25	32	40	50	70	80	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400
<i>Объем изоляции, м³</i>																					
50	—	0,016	0,018	0,019	0,020	0,022	0,024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,076	0,088	0,120	0,170	0,220	0,290	0,320	0,350	0,380	0,420	0,480
60	—	—	—	—	—	0,027	0,029	0,033	0,044	0,048	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,110	0,130	0,180	0,260	0,300	0,400	0,440	0,510	0,560	0,650	0,700
80	—	—	—	—	—	0,050	0,056	0,060	0,080	0,100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	—	0,080	0,100	0,140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,200	0,250	0,300	0,350	0,450	0,600	0,700	0,760	0,800	0,900	1,000
115	60	—	—	—	—	—	—	0,030	0,046	0,061	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	55	—	—	—	—	—	—	0,040	0,055	0,080	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
130	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,110	0,130	0,180	0,260	0,300	0,400	0,440	0,510	0,560	—	—
	55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,110	0,120	0,140	0,180	0,250	0,320	0,370	0,400	0,450	—	—
<i>Площадь поверхности изоляции, м²</i>																					
50	—	0,40	0,50	0,50	0,55	0,60	0,62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,70	1,95	2,60	3,40	4,20	5,50	6,30	6,70	7,00	7,50	8,00
60	—	—	—	—	—	0,64	0,66	0,70	0,80	1,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,80	1,95	2,80	3,60	4,40	5,70	6,50	7,00	7,50	8,50	9,50
80	—	—	—	—	—	0,70	0,72	0,76	1,10	1,35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	—	0,85	1,10	1,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,00	2,30	3,00	3,80	4,60	6,00	6,80	7,30	8,00	9,00	10,00
115	—	—	—	—	—	—	—	0,80	1,15	1,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,20	2,50	3,20	4,00	5,00	6,30	7,00	7,50	8,30	—	—



Таблица 7.6. Объем и площадь поверхности изоляции на одно фланцевое соединение трубопроводов

Толщина изоляции, мм		Диаметр условного прохода, мм																			
		25	32	40	50	70	80	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400
<i>Объем изоляции, м³</i>																					
50	—	0,010	0,011	0,012	0,013	0,015	0,017	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,045	0,054	0,071	0,083	0,090	0,100	0,110	0,120	0,130	0,150	0,170
60	—	—	—	—	—	0,020	0,022	0,023	0,030	0,040	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,068	0,076	0,095	0,130	0,140	0,150	0,160	0,170	0,180	0,200	0,220
80	—	—	—	—	—	0,035	0,045	0,045	0,050	0,060	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	—	0,050	0,070	0,090	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,120	0,130	0,180	0,210	0,230	0,250	0,270	0,290	0,310	0,350	0,400
115	60	—	—	—	—	—	—	0,030	0,035	0,050	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	55	—	—	—	—	—	—	0,050	0,060	0,080	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
130	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,068	0,076	0,095	0,130	0,140	0,150	0,160	0,170	0,180	—	—
	55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,082	0,084	0,135	0,140	0,150	0,170	0,190	0,210	0,220	—	—
<i>Площадь поверхности изоляции, м²</i>																					
50	—	0,30	0,33	0,36	0,39	0,43	0,45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,06	1,22	1,54	1,92	1,98	2,20	2,42	2,65	2,88	3,30	3,60
60	—	—	—	—	—	0,45	0,48	0,54	0,70	0,88	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,12	1,30	1,64	2,03	2,40	2,60	2,90	3,10	3,33	3,80	4,20
80	—	—	—	—	—	0,55	0,65	0,75	0,85	0,96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	—	0,70	0,80	1,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,70	1,80	2,40	2,65	2,90	3,15	3,40	3,70	3,90	4,20	4,60
115	—	—	—	—	—	—	—	0,80	0,90	1,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,95	2,10	2,75	3,00	3,25	3,60	3,80	4,05	4,30	—	—

Таблица 7.7. Перечень ГОСТ и ТУ на теплоизоляционные конструкции и материалы, коэффициенты их уплотнения

Наименование	Коэффициент уплотнения в конструкции	ГОСТ или ТУ
Известково-кремнеземистые изделия: литые марки 225 прессованные марки 375	—	ТУ 34-48-4601-77
Перлитцементные изделия марки 300	—	ГОСТ 18109-72
Цилиндры и полцилиндры из минеральной ваты на синтетическом связующем марки 150	—	ГОСТ 14356-61 и ГОСТ 14357-69
Плиты и маты из минеральной ваты на синтетическом связующем: мягкие марки 75 полужесткие марки 100	1,5 1,2	ГОСТ 9573-72* ГОСТ 9573-72*
Маты минераловатные прошивные с обкладкой металлической сеткой и в виде матрацев в оболочках из тканей марки 150	1,2	ГОСТ 21880-76
Шнур из минеральной ваты: в оплетке из ровинга в оплетке из стальной проволоки	— —	ТУ 3448-4610-76 Минэнерго ТУ 36-887-67 МЭиЭ СССР
Шнур асбестовый	—	ГОСТ 1779-72
Плиты соевелитовые <sup>1</sup>	—	ГОСТ 6788-74
Маты минераловатные прошивные без обкладок <sup>1</sup>	1,2	ГОСТ 21880-76
Полосы и маты из стеклянного волокна прошивные при изоляции трубопроводов диаметром менее 273 мм <sup>1</sup>	1,3	ТУ 21-23-72-75
Маты из стеклянного штапельного волокна в рулонах технические <sup>1</sup>	1,6	ГОСТ 10493-78

<sup>1</sup> Изделия не включены в табл. 7.2, но допустимы к применению.

Примечание. Марка изделия, указанная в таблице, соответствует его максимальной объемной массе, кг/м<sup>3</sup>.

ны изготавливаться из жаропрочной стали. На вертикальных участках трубопроводов независимо от их диаметра и принятых теплоизоляционных конструкций обязатель-

на установка разгружающих устройств через каждые 3 м по высоте для предохранения изоляции от сползания под действием собственного веса

## Раздел восьмой

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПОСТАВКА И УСТРОЙСТВО ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ СТАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

#### 8.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проектирование стационарных трубопроводов тепловых электростанций включает в себя:

1) разработку схемы трубопроводов, обеспечивающую надежную и безопасную работу электростанции, при этом определяются диаметры основных трубопроводов и выполняется расстановка арматуры;

2) разработку компоновки и трассировки трубопроводов по параметрам и назначению с привязкой трубопроводов к зданию или оборудованию с указанием материала и сортамента труб, решением вопросов компенсации тепловых удлинений (при их наличии) и крепления трубопроводов с расстановкой и выбором типа опор и подвесок, определением вида приводов арматуры (местное или дистанционное управление), разбивкой трубопровода на укрупненные транспортабельные блоки (при блочной поставке трубопровода), установкой дренажей, воздушников, измерительных устройств и других устройств, составлением спецификаций на все блоки и элементы

трубопровода и перечнем опор, подвесок и приводов, указанием технических требований к изготовлению и испытанию данного трубопровода;

3) разработку рабочих чертежей блоков трубопровода, опор и подвесок, приводов, лестниц и площадок и др.;

4) разработку проекта тепловой изоляции трубопровода (в случае ее необходимости).

Проект трубопроводов должен включать в себя конструктивное решение всех вопросов по устройству трубопровода в целом, а также предусматривать мероприятия по обеспечению нормальной эксплуатации трубопровода (заполнение, опорожнение, обеспаривание, наблюдение за структурным состоянием и ползучестью металла паропроводов, обеспечение свободного теплового перемещения трубопроводов и т. д.).

При разработке трубопроводов следует исходить из возможности изготовления его деталей и элементов на заводах-изготовителях и строительно-монтажных площадках.

В технически обоснованных случаях,

Таблица 8.1. Категории трубопроводов по Правилам Госгортехнадзора СССР [1]

Категория трубопровода	Среда	Рабочие параметры среды	
		Температура, °С	Давление (избыточное), кгс/см <sup>2</sup>
1	а) перегретый пар б) то же в) " " г) " " д) горячая вода, насыщенный пар	Выше 580 Выше 540 до 580 (включительно) Выше 450 до 540 (включительно) До 450 (включительно) Выше 115	Не ограничено То же " " " " Более 39 Более 80
2	а) перегретый пар б) то же в) горячая вода, насыщенный пар	Выше 350 до 450 (включительно) До 350 (включительно) Выше 115	До 39 (включительно) Более 22 до 39 (включительно) Более 39 до 80 (включительно)
3	а) перегретый пар б) то же в) горячая вода, насыщенный пар	Выше 250 до 350 (включительно) До 250 (включительно) Выше 115	До 22 (включительно) Более 16 до 22 (включительно) Более 16 до 39 (включительно)
4	а) перегретый, насыщенный пар б) горячая вода	Выше 115 до 250 (включительно) Выше 115	Более 0,7 до 16 (включительно) До 16 (включительно)

проект трубопроводов может быть ориентирован на применение новых технических средств, которые должны быть согласованы с соответствующими заводами или монтажными организациями.

Проекты должны учитывать максимальное применение деталей и элементов по ГОСТ, ОСТ или другим действующим на них стандартам. Рабочие чертежи деталей и элементов трубопроводов, содержащиеся в стандартах, в проектах трубопроводов не разрабатываются. В этом случае детали и элементы включаются в спецификацию как готовые изделия с указанием их обозначения по стандарту, количества и массы. Разработка технической документации на индивидуальные элементы и детали трубопроводов допускается только при отсутствии их в стандартах или в случае, когда не представляется возможным использовать стандартные детали.

Каждый трубопровод должен проверяться на пропускную способность, исходя из допустимой потери давления при заданной его конфигурации. При отсутствии в действующих сортаментах труб достаточно большого диаметра разрешается выполнять трубопровод из нескольких параллельных ниток без резерва.

Трубопроводы тепловых электростанций в зависимости от параметров транспортируемой ими среды (давления и температуры) подразделяются на трубопроводы низкого давления ( $p_p < 22$  кгс/см<sup>2</sup> и  $t \leq 425^\circ\text{C}$ ), повышенного давления ( $p_p$  до 39 кгс/см<sup>2</sup> и  $t \leq 450^\circ\text{C}$ ) и высокого давления ( $p_{ном} = 100 \div 140$  кгс/см<sup>2</sup> и  $t = 540 \div 560^\circ\text{C}$ ), куда относятся и трубопроводы сверхвысокого давления ( $p_{ном} = 255$  кгс/см<sup>2</sup> и  $t = 545^\circ\text{C}$  и более). Кроме того, в зависимости от характера транспортируемой среды трубопроводы подразделяются на трубопроводы пара и воды, маслопроводы, мазутопроводы,

трубопроводы ацетилена, кислорода, водорода, сжатого воздуха, трубопроводы агрессивных сред (часть трубопроводов химводоочисток, трубопроводы кислотных промывок оборудования и др.), трубопроводы шлакозолоудаления, трубопроводы природного газа и др.

Проектирование, монтаж и эксплуатация этих трубопроводов должны вестись строго в соответствии с действующими правилами и требованиями, предъявляемыми к каждому из них.

Все виды трубопроводов тепловых электростанций, транспортирующих водяной пар с рабочим давлением более 0,7 кгс/см<sup>2</sup> или горячую воду с температурой свыше 115°C, подведомственны Госгортехнадзору СССР и должны удовлетворять требованиям его Правил.

Все трубопроводы, на которые распространяются упомянутые Правила, делятся в соответствии с ними в зависимости от параметров транспортируемой среды на четыре категории (см. табл. 8.1). При отсутствии на трубопроводе устройств, изменяющих параметры среды, весь трубопровод независимо от его протяженности относится к одной категории.

При определении категории трубопровода за рабочие параметры транспортируемой среды принимаются:

1) для паропроводов от котлов — номинальное давление и температура пара на выходе из котла (за пароперегревателем);

2) для паропроводов от турбин, работающих с противодавлением, — максимально возможное давление в противодавлении, предусмотренное техническими условиями на поставку турбины, и максимально возможная температура пара в противодавлении при работе турбины на холостом ходу;

3) для паропроводов от нерегулируемых и регулируемых отборов пара от тур-

бин (в том числе для паропроводов промежуточного перегрева) — максимально возможное давление и температура пара в отборе (согласно данным завода-изготовителя турбины). Наибольшее возможное давление пара в нерегулируемом отборе турбины достигается при максимальном расходе его в последующие ступени за данным отбором. Наивысшей температуры пар в регулируемых отборах достигает при малых расходах его через турбину в режимах, когда применяется дроссельное регулирование расхода пара первым клапаном. В нерегулируемых отборах конденсационных турбин своей наивысшей температуры пар достигает при максимальных расходах его через турбину, когда тепловой перепад регулирующей ступени становится минимальным;

4) для паропроводов от редуцированных и редуциционно-охладительных установок — максимально возможное давление и температура редуцированного пара, принятые в проекте установки;

5) для трубопроводов питательной воды после деаэратора — номинальное давление в деаэраторе, увеличенное на гидравлическое давление столба воды, и температура, равная температуре насыщенного пара в деаэраторе;

6) для трубопроводов питательной воды после питательных насосов и подогревателей высокого давления (ПВД) — наибольшее давление, создаваемое в напорном трубопроводе питательным насосом при закрытой задвижке и максимальном давлении на всасывающей линии насоса (при применении питательных насосов с турбоприводом и электронасосов с гидромуфтой — 1,05 номинального давления насоса, поршневых насосов — 1,2 номинального давления в котле), и максимальная расчетная температура воды за последним ПВД;

7) для подающих и обратных трубопроводов водяных тепловых сетей — максимальное давление воды, определенное с учетом работы насосных подстанций на трассе и рельефа местности, и максимальная температура воды в подающем трубопроводе;

8) для дренажных и продувочных трубопроводов до отключающих вентилях — давление и температура в основных трубопроводах;

9) для трубопроводов расширителей продувок и дренажей — рабочее давление в расширителе;

10) для трубопроводов воды, присоединенных к бакам, — гидростатическое давление столба воды над трубопроводом плюс давление пара в баке над поверхностью воды;

11) для выхлопных трубопроводов — давление за предохранительным клапаном, которое определяется гидродинамическим расчетом.

Для пунктов 8—11 за расчетную температуру принимается наивысшая температура протекающей в трубопроводе среды.

Соединение элементов трубопроводов,

как правило, должно производиться сваркой. Применение фланцевых соединений может быть допущено только в исключительных случаях (см. разд. 4). В проекте должна быть предусмотрена возможность проведения всех видов контроля по действующим правилам и инструкциям, а также возможность установки устройств автоматизации, защит и блокировок.

Все трубопроводы с температурой наружной поверхности труб выше 45°C, расположенные в доступных для обслуживающего персонала местах, должны быть покрыты тепловой изоляцией (см. разд. 7)

Трубопроводы, подведомственные Правилам Госгортехнадзора СССР, должны быть зарегистрированы до пуска их в эксплуатацию в местных органах Госгортехнадзора предприятием-владельцем трубопровода. Регистрации в этих органах подлежат трубопроводы пара и горячей воды 1-й категории условным проходом более 70 мм, а также трубопроводы 2-й и 3-й категорий условным проходом более 100 мм. Другие трубопроводы, на которые распространяются Правила, подлежат регистрации на предприятии, являющемся владельцем трубопровода.

Станционные трубопроводы низкого давления, как правило, поставляются специализированными заводами котельно-вспомогательного оборудования и трубопроводов (КВО и Т) монтажных организаций. Часть трубопроводов с опорами, подвесками и опорными конструкциями поставляется строительными организациями. К ним относятся трубопроводы: воды противопожарной, питьевой и для хозяйственных нужд; тепловых сетей, кроме расположенных в главном корпусе и котельных водогрейных котлов; горячего водоснабжения и отопления; промливневой и фекальной канализации; склада горючих и смазочных материалов; защиты проводов и кабелей; мусоропроводов; воздухопроводы вентиляции и сантехнических устройств; межцеховые трубопроводы сжатого воздуха, масла, кислорода, ацетилена.

Объединение перечисленных трубопроводов со станционными трубопроводами низкого давления на общих чертежах и спецификациях не допускается.

Поставка заводами КВО и Т трубопроводов низкого давления производится блоками по чертежам проектной организации, т. е. укрупненными монтажными единицами, состоящими из прямых и гнутых труб, отводов, переходов и т. д. Общий размер блока определяется нормами железнодорожных габаритов и подвижного состава и составляет 11,0×2,6×1,1 м.

Трубопроводы высокого давления поставляются Белгородским заводом энергетического машиностроения (БЗЭМ). Поставка этих трубопроводов для блоков с турбинами мощностью 250 МВт и выше также производится блоками, причем разбивка трубопровода на блоки и выполнение

Таблица 8.2. Номенклатура узлов рабочих чертежей трубопроводов тепловых электростанций в главном корпусе

Наименование узла	Наименование и объем трубопроводов узла
Технологические стационарные трубопроводы высокого давления	Главный паропровод, питательные трубопроводы, трубопроводы слива в продувок, трубопроводы КИП и А, фосфатирования и другие трубопроводы со схемами, монтажными чертежами, с опорами и подвесками, приводами, лестницами и площадками для обслуживания трубопроводов высокого давления
Технологические стационарные трубопроводы низкого давления ( $p \leq 22 \text{ кгс/см}^2$ ): трубопроводы питательно-деаэрационных установок	Трубопроводы пара, конденсата, химически очищенной воды и других сред в пределах питательно-деаэрационных установок, бакового хозяйства, РОУ и БРОУ, растопочных сепараторов и различных других установок со схемами, монтажными чертежами, с опорами и подвесками, приводами, лестницами и площадками для их обслуживания
трубопроводы тепловых потребителей	Трубопроводы производственного пара, сетевых подогревателей и другие со схемами, монтажными чертежами, с опорами и подвесками, лестницами и площадками для их обслуживания
трубопроводы очистки основного конденсата турбины и общестационарных конденсатов	Трубопроводы очистки конденсата турбин, общестационарных конденсатов и других установок водоподготовки, включая антикоррозионные покрытия, со схемами, монтажными чертежами, с опорами и подвесками, приводами, лестницами и площадками для их обслуживания и др.
трубопроводы предпусковых продувок, кислотных промывок, консервации оборудования	Трубопроводы предпусковых продувок, кислотных промывок, консервации оборудования, обмывок и сбора кислых вод и другие со схемами, монтажными чертежами, с опорами и подвесками, приводами, лестницами и площадками для их обслуживания и др.
трубопроводы циркуляционной воды, сырой воды и охлаждения подшипников и механизмов	Трубопроводы циркуляционной воды, сырой воды, охлаждения подшипников и другие со схемами, монтажными чертежами, с опорами и подвесками, лестницами и площадками для их обслуживания и др.
трубопроводы шлакозолоудаления и облицовки каналов и гидрошлакозолоудаления	Трубопроводы гидрошлакозолоудаления, пневмозолоудаления и другие со схемами, монтажными чертежами, с опорами и подвесками, приводами, лестницами и площадками для их обслуживания и др.
выхлопные трубопроводы	Выхлопные трубопроводы всех назначений со схемами, монтажными чертежами, опорами и подвесками, лестницами и площадками для их обслуживания и др.
вспомогательные трубопроводы	Маслопроводы, паромаслопроводы, трубопроводы азотелена, кислорода, водорода, трубопроводы сжатого воздуха, установок огнестойкой жидкости, отбора пара и воды для собственных нужд и другие трубопроводы со схемами, монтажными чертежами, с опорами и подвесками, приводами, лестницами и площадками для их обслуживания.

их рабочих чертежей производятся в этом случае заводом. Проектная организация при этом выдает заводу задание в виде трассировочного чертежа с указанием на нем диаметров трубопроводов, привязки их к строительной части, а также решает вопрос тепловой компенсации, выполняет прочностные расчеты и выбирает опоры, подвески и арматуру, указывает установку и места расположения измерительных сопел и диафрагм, штуцеров КИП и А с их привязками и др. Чертежи опор, подвесок и приводов арматуры проектная организация выполняет своими силами и передает на БЗЭМ лишь перечень узлов, выполняемых по отраслевым стандартам, с указанием количества и массы этих узлов, а также перечень арматуры высокого давления и колонок дистанционного управления к ним, так как эти объемы также входят в поставку завода. Узлы крепления опор и подвесок трубопроводов высокого давления к зданию или оборудованию (балки, кронштейны и др.) поставляются заводами КВО и Т.

Для блоков с турбинами меньшей мощности БЗЭМ, как правило, производит поставку трубопроводов высокого давления россыпью, т. е. не укрупненными блоками,

а отдельными деталями, сварка которых производится при монтаже. В этом случае проектная организация выполняет проект трубопроводов в полном объеме, но не производит разбивку его на блоки и составляет подетальную спецификацию. Поставка трубопроводов россыпью или блоками оговаривается в выпускаемом ежегодно именнике на эти трубопроводы, в котором также указываются сроки предоставления технической документации проектной организацией заводу.

Объединение трубопроводов высокого давления с другими стационарными трубопроводами на общих чертежах и спецификациях не допускается.

По номенклатуре узлов рабочих чертежей тепловых электростанций в главном корпусе (Словарь наименований узлов) техническая документация на трубопроводы в главном корпусе должна разбиваться на узлы (табл. 8.2).

Рабочие проекты трубопроводов высокого и низкого давления тепловых электростанций должны выполняться в соответствии с утвержденными отраслевыми стандартами (эталонами) на выполнение их рабочих чертежей, учитывающими требования заводов — изготовителей трубопроводов,

а также монтажных организаций. В этих стандартах оговорены объем и содержание рабочего проекта трубопровода, дано краткое содержание объема монтажно-сборочных и монтажно-трассировочных чертежей, монтажных схем, чертежей блоков трубопроводов, ненормализованных деталей трубопровода, чертежей опор и подвесок, монтажных чертежей дистанционных приводов, заглавных листов и сводных спецификаций. К эталонам приложены примеры оформления чертежей с заполненными формами спецификаций к ним.

## 8.2. ВЫБОР ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА И СОРТАМЕНТА ТРУБ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Внутренний диаметр труб трубопровода определяет его пропускную способность, а также допустимое падение давления в нем при заданной его конфигурации и длине.

При уменьшении внутреннего диаметра труб снижаются стоимость трубопровода, затраты на его монтаж и содержание, но при этом увеличивается его гидродинамическое сопротивление, что приводит к дополнительным издержкам из-за роста расхода электроэнергии на приводы насосов.

Внутренний диаметр труб выбирается, исходя из максимально возможных эксплуатационных расходов среды и максимально допустимых при этом потерь давления. Значение максимально допустимого падения давления в трубопроводе должно

Таблица 8.3. Скорости движения среды в стационарных трубопроводах

Наименование трубопровода	Скорость, м/с
Паропроводы свежего пара от котлов к турбинам:	
сверхвысокого и высокого давления	50—70
повышенного, среднего и низкого давления	40—70
Паропроводы промежуточного перегрева:	
горячего	50—70
холодного	40—55
Прочие трубопроводы:	
низкого давления	40—70
насыщенного пара	20—40
подвода пара к РОУ и БРОУ	60—90
Водоводы, работающие под давлением насосов:	
питательные трубопроводы котлов	2,5—6
конденсатопроводы, вспомогательные трубопроводы (сырой, химически очищенной, технической, смывной воды)	2—3
Водоводы, работающие без давления:	
на всасе к насосам всех назначений	0,6—1,5
свободного слива, перелива и т. д.	1—2
Грубопроводы вязких веществ (масла, мазута и т. д.)	1—2
Трубопроводы сжатого воздуха и других газов	10—20
Выхлопные трубопроводы, трубопроводы аварийных сливов и сбросов после БРОУ	Допустима критическая

Примечание. Меньшими значениями скоростей следует пользоваться для трубопроводов малых диаметров.

приниматься в расчетах с учетом запаса в 10% на допускаемое стандартами и нормами отклонение диаметра и толщины стенок труб от расчетных размеров.

При выборе диаметра труб, исходя из максимально допустимых потерь давления, необходимо контролировать значения скорости среды, так как чрезмерное повышение ее может вызвать быстрый износ уплотнительных поверхностей арматуры, а также нежелательные вибрации трубопровода.

Целесообразность уменьшения сопротивления трубопровода путем увеличения его внутреннего диаметра должна обосновываться технико-экономическим сравнением вариантов. При этих расчетах должны учитываться увеличение капитальных затрат на трубопроводы и тепловую изоляцию и уменьшение расходов на перекачку среды. Техничко-экономические расчеты для выбора наиболее выгодного диаметра труб трубопровода приведены в [16, с. 82]. Однако этот выбор ограничивается принятым в отраслевых стандартах сортаментом труб.

Определение внутреннего диаметра трубы трубопровода в предварительных расчетах следует производить по формуле

$$D_{в} = \sqrt{0,354 \frac{Qv}{w}},$$

где  $D_{в}$  — внутренний диаметр трубы, м;  $Q$  — расход среды, т/ч;  $v$  — удельный объем среды, м<sup>3</sup>/кг;  $w$  — скорость движения среды, м/с. Скорости движения среды в стационарных трубопроводах рекомендуется принимать по табл. 8.3.

Выбор диаметра труб производится следующим образом: определяется предварительный внутренний диаметр трубы для данного расхода и принятой скорости воды, по действующему ограничительному сортаменту выбирается труба ( $D_{в} \times S$ ) с округлением в большую сторону; выполняется гидродинамический расчет трубопровода выбранного диаметра (см. разд. 9); если результат расчета не удовлетворяет заданным условиям, диаметр трубы уточняется и производится повторный гидродинамический расчет.

В случае необходимости применения труб, не предусмотренных отраслевыми стандартами, определяется их требуемый наиболее выгодный внутренний диаметр и рассчитывается толщина стенки труб (см. разд. 10). Возможность применения таких труб согласуется с соответствующими организациями, в том числе и с трубной промышленностью.

## 8.3. ДРЕНАЖИ, ОПОРОЖНЕНИЕ, ВОЗДУШНИКИ И УКЛОНЫ ТРУБОПРОВОДОВ

### 8.3.1. ДРЕНАЖНО-ПРОДУВОЧНАЯ СИСТЕМА ПАРОПРОВОДОВ

Во время пуска паропроводов, а в некоторых случаях и во время их работы в них возможно образование конденсата,

скопление которого может привести к гидравлическому удару как в самом трубопроводе, так и в присоединенном к нему оборудовании. Для удаления этого конденсата, а также влажного пара при пусках в паропроводах должны быть предусмотрены дренажно-продувочные устройства с достаточной пропускной способностью.

Дренажно-продувочная система паропроводов должна обеспечивать удаление образующегося конденсата и влажного пара из прогреваемого участка паропровода перед включением его в работу (продувка, пусковой дренаж), удаление сконденсировавшегося пара из выключенного участка (опорожнение), непрерывное удаление конденсата из участка паропровода, находящегося под давлением, если в нем возможно образование конденсата (постоянный дренаж), удаление воздуха из паропровода при заполнении его водой с целью проведения гидравлических испытаний.

В схеме трубопроводов должно быть предусмотрено максимальное использование конденсата, теплоты дренажей и продувок в тепловой схеме станции.

Все участки паропроводов, которые могут быть отключены запорными органами, для возможности их прогрева и продувки должны снабжаться в концевых точках: при давлении до  $22 \text{ кгс/см}^2$  — штуцером с вентиляем, выполняющим одновременно роли запорного и регулирующего; при рабочем давлении свыше  $22 \text{ кгс/см}^2$  — штуцером с двумя последовательно расположенными вентилями (запорным и регулирующим); паропроводы на условное давление  $p_u=200 \text{ кгс/см}^2$  и выше должны обеспечиваться штуцерами с последовательно расположенными запорным и регулирующим (дренажным) вентилями и дроссельной шайбой. Регулирующие вентили во всех случаях устанавливаются за запорными, чтобы уменьшить скорость пара и износ уплотнительных поверхностей запорных вентиляей. Устройство дренажей должно предусматривать возможность контроля за их работой во время прогрева трубопровода.

В случае возможности прогрева участка паропровода в обоих направлениях продувка должна быть предусмотрена с обоих концов участка. Нижние концевые точки паропроводов и нижние точки их изгибов должны снабжаться устройствами для продувки. Для паропроводов насыщенного пара и для тупиковых участков перегретого пара обязателен непрерывный отвод конденсата через конденсатоотводчики или другие устройства. Для паровых тепловых сетей непрерывный отвод конденсата в нижних точках трассы обязателен независимо от состояния пара.

Для паропроводов, имеющих температуру перегрева пара значительно выше температуры насыщения, например для главных паропроводов, устройства постоянного дренажа не требуется, так как после их прогрева и пуска конденсат в них не обра-

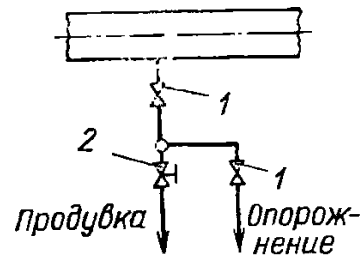


Рис. 8.1. Схема выполнения дренажного узла на паропроводе низкого давления:  
1 — вентиль запорный; 2 — вентиль регулирующий (дренажный)

зуется. Исключением являются паропроводы к оборудованию, находящемуся в состоянии горячего резерва (быстро включающиеся РОУ, резервные турбонасосы), которые находятся под постоянным давлением пара. В этом случае перед включающим клапаном необходимо устройство постоянного дренажа, который выполняется в виде дросселирующего устройства — вентиля и шайбы. Фактически это не постоянный дренаж, а непрерывный прогрев трубопровода.

Постоянное дренирование паропроводов низкого давления осуществляется конденсатоотводчиками (конденсатными горшками или термодинамическими конденсатоотводчиками), а для паропроводов с давлением  $1,2-1,5 \text{ кгс/см}^2$  — гидрозатворами.

Устройства для опорожнения, продувки и дренажа рекомендуется выполнять в виде совмещенных узлов, подключаемых к трубопроводу через один общий для каждого узла штуцер (рис. 8.1).

Количество дренажных точек на трубопроводе должно быть сведено к минимуму, но должно обеспечивать нормальную и безаварийную его работу. Для уменьшения количества дренажных точек трубопроводы следует выполнять с постоянным уклоном по ходу движения пара, избегая создания порогов или стояков. В местах установки измерительных сопел и диафрагм на горизонтальных участках трубопроводов предусматривать дренажные устройства и устройства для опорожнения нет необходимости, так как для этих целей используются заборные трубки присоединения расколмеров. При горизонтальном расположении на трубопроводах линзовых компенсаторов необходимы продувки и опорожнение каждой линзы компенсатора. Для опорожнения паропровода и слива воды после его гидравлического испытания используются те же продувочно-дренажные узлы. Для удаления воздуха из паропроводов при гидравлическом испытании и обезпаривании во всех верхних точках трубопровода устанавливаются воздушники. Кроме того, предусматриваются воздушники за запорной арматурой по направлению уклонов на случай ее отключения. Воздушники для трубопроводов низкого давления должны иметь



один вентиль и для высокого давления — два.

При прокладке дренажных и сливных линий должна обеспечиваться их достаточная компенсирующая способность, особенно в местах присоединения к основным трубопроводам.

### 8.3.2. СИСТЕМА ОПОРОЖНЕНИЯ И УДАЛЕНИЯ ВОЗДУХА ИЗ ТРУБОПРОВОДОВ ВОДЫ И КОНДЕНСАТА

Трубопроводы, транспортирующие воду или конденсат, не требуют установки ни дренажей, ни продувочных устройств, на них предусматривается установка только узлов опорожнения и воздушников. Система опорожнения и удаления воздуха должна предусматривать опорожнение трубопроводов после их остановки и после проведения гидравлического испытания, удаление воздуха из трубопровода при заполнении его водой или конденсатом, сбор и использование конденсата при опорожнении конденсатопроводов.

Устройства для опорожнения должны выполняться во всех нижних точках трубопровода. Следует также предусматривать самостоятельные точки опорожнения перед запорной арматурой по направлению уклона (на случай ее закрытия). Эти устройства должны выполняться: для трубопроводов высокого давления — с двумя запорными вентилями, для прочих трубопроводов — с одним вентилем. Установку воздушников на водяных трубопроводах следует выполнять аналогично установке их на паропроводах.

### 8.3.3. УКЛОНЫ ТРУБОПРОВОДОВ

Горизонтальные участки трубопроводов должны прокладываться с соответствующими уклонами, обеспечивающими полный сток воды при их опорожнении, а также сток конденсата в случае его образования в паропроводах, что приводит к сокращению количества дренажных точек.

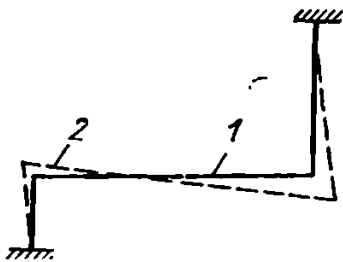


Рис. 8.2. Изменение уклона горизонтального участка трубопровода в результате смещения вертикальных участков:

1 — трубопровод в холодном состоянии; 2 — трубопровод в рабочем состоянии

Уклоны находящихся в рабочем состоянии трубопроводов могут не совпадать с их монтажными уклонами (уклонами трубопроводов в холодном состоянии с учетом холодного натяга). Эта разница может быть вызвана тем, что при рабочей температуре трубопровода его вертикальные участки под воздействием тепловых удлинений могут смещаться как вверх, так и вниз в зависимости от расстановки неподвижных опор, в результате чего будет изменяться уклон горизонтального участка трубопровода (рис. 8.2), а также будут появляться остаточные, постепенно нарастающие прогибы в горизонтальных прелегах из-за ползучести металла труб паропроводов, работающих при высоких температурах. Для паропроводов, в которых может образовываться конденсат пара, уклон должен быть принят равным  $i \geq 0,004$ , при этом, если трубопровод при разогреве смещается вниз, может быть задан минимальный уклон  $i = 0,004$ , а если трубопровод смещается вверх, необходимые монтажные отметки можно задавать при помощи графического построения, указанного в [16, с. 16].

Действительный уклон вдоль трубопровода является величиной переменной, зависящей от номинального монтажного уклона, определяемого разностью отметок опор и прогибом данного участка. Для предотвращения возникновения местных обратных уклонов необходимо, чтобы пролет между опорами был не больше вычисленного по формуле (6.1).

Расчетные уклоны трубопроводов должны назначаться с учетом условий их прокладки и эксплуатации. Так, например, в трубопроводах большой протяженности (паропроводы от ТЭЦ к промышленным потребителям) создание уклонов более 0,001—0,002 связано с техническими затруднениями и дополнительными затратами. В то же время случаи их отключения и последующие пуски редки, а время их прогрева может быть достаточно длительным, что позволяет для таких паропроводов принимать минимальный попутный уклон 0,001—0,002 (попутный уклон совпадает с направлением движения пара). Для стационарных трубопроводов, имеющих ограниченную длину и достаточную, как правило, разность отметок начала и конца, создание уклонов не вызывает затруднений. В то же время необходимость их прогрева возникает сравнительно часто, а время прогрева ограничено. В связи с этим для стационарных паропроводов должны предусматриваться уклоны не менее 0,004.

Монтажные уклоны горизонтальных участков стационарных трубопроводов других назначений должны приниматься не менее: для водоводов (питательная вода, конденсат, циркуляционная вода) 0,002, для дренажных трубопроводов 0,003, для паромазутопроводов 0,005, для масла 0,010, для водорода, кислорода и ацетилена 0,002, для природного газа 0,002.



## 8.4. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ ВОДЫ И ПАРА

### 8.4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для определения расходов пара и воды, транспортируемых стационарными трубопроводами тепловых электростанций, на них устанавливаются специальные устройства с измерительными соплами или диафрагмами (сужающие устройства).

Диафрагмы и сопла имеют проходные сечения, которые меньше чем сечение трубопровода, на котором они устанавливаются. Определение расхода основано на измерении перепада давления при проходе среды через отверстие меньшего диаметра. При прохождении среды через сопло или диафрагму ее скорость возрастает, а давление падает, причем с увеличением расхода проходящей среды перепад давления увеличивается, а с уменьшением — уменьшается. Определение расхода среды производится по перепаду давления, измеряемому дифференциальным манометром, присоединенным к трубопроводу с помощью импульсных трубок, до и после сужающего устройства — сопла или диафрагмы.

Измерительные сужающие устройства выполняются камерными и бескамерными. В камерных устройствах измерение перепада давления производится через две кольцевые камеры (до и после сопла или диафрагмы), к которым присоединяются импульсные трубки, идущие к дифференциальным манометрам. Каждая из камер соединяется с внутренней полостью трубопровода кольцевой щелью (сплошной или прерывистой) или группой отверстий, равномерно распределенных по окружности. Кольцевая камера может быть выполнена либо непосредственно в «теле» измерительного устройства, либо в каждом из фланцев, между которыми зажимается сопло или диафрагма. Эти камеры усредняют и выравнивают давление отбираемой среды до и после диафрагмы или сопла, что повышает точность измерения.

В бескамерных измерительных устройствах усреднение давления происходит в кольце, выполненном из трубки небольшого диаметра и монтируемом снаружи (вокруг) участка трубопровода, где устанавливается измерительное устройство, к которому и присоединяются импульсные трубки дифференциального манометра. В этом случае число отверстий, соединяющих трубчатую камеру с полостью трубопровода, должно быть не менее четырех.

Как показала практика, расходомеры с бескамерными измерительными устройствами имеют большие погрешности, чем с камерными. Бескамерные измерительные устройства устанавливаются на трубопроводах низкого давления при условных проходах последних от 400 мм и больше.

Измерительные устройства в виде блоков, состоящих из двух патрубков с разме-

щенными между ними соплом или диафрагмой, нормализованы, как и подавляющее большинство деталей и элементов стационарных трубопроводов.

Для трубопроводов высокого давления применяются блоки с измерительным соплом, вваренным между специальными патрубками (рис. 8.3,а); для определения расхода воды высокого давления устанавливаются блоки с измерительными диафрагмами, также вваренными между специальными патрубками (рис. 8.3,б).

Для трубопроводов низкого давления ( $p_p \leq 22$  кгс/см<sup>2</sup>) как для воды, так и для пара применяются измерительные камерные диафрагмы, устанавливаемые между двумя патрубками с плоскими (рис. 8.3,в) или приварными встык (рис. 8.3,г) фланцами, а также бескамерные диафрагмы (рис. 8.3,д).

### 8.4.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, ИХ ПОСТАВКА И ВЫБОР

Основными характеристиками сужающих (измерительных) устройств являются: внутренний диаметр трубопровода перед сужающим устройством ( $D_{20}$ ) при температуре 20°C; диаметр отверстия сужающего устройства ( $d_{20}$ ) также при температуре 20°C, который для каждого конкретного случая устанавливается расчетом; модуль сужающего устройства  $m$ , равный квадрату отношения площадей отверстия сужающего устройства и трубопровода при рабочей температуре:  $m = (d/D)^2$ , где  $d$  — диаметр отверстия сужающего устройства,  $D$  — внутренний диаметр трубопровода.

Для трубопроводов высокого давления измерительные сопла и диафрагмы заказываются и поставляются блоками Белгородским заводом энергетического машиностроения. Поставка этих блоков производится в соответствии с действующим отраслевым стандартом.

Измерительные диафрагмы для трубопроводов низкого давления заказываются проектной организацией, выполняются и поставляются на станцию специализированными заводами. Соединения же для измерительных диафрагм (патрубки с фланцами) в этом случае изготавливаются и поставляются заводами — изготовителями трубопроводов низкого давления также в соответствии с отраслевым стандартом на них.

Заказ диафрагм для трубопроводов низкого давления должен сопровождаться специальными опросными листами на них, причем заполнение этих листов для камерных диафрагм должно производиться с учетом требований ГОСТ 14321-73 \* «Диафрагмы камерные на  $p_p$  до 100 кгс/см<sup>2</sup>». В опросном листе для этих диафрагм следует указывать камеры исполнения II (с впадиной) и следующие материалы камеры и диска (диафрагмы): I) для пара и воды: корпус камеры — сталь марки 35 по ГОСТ 1050-74 \*\*, диск — сталь марки

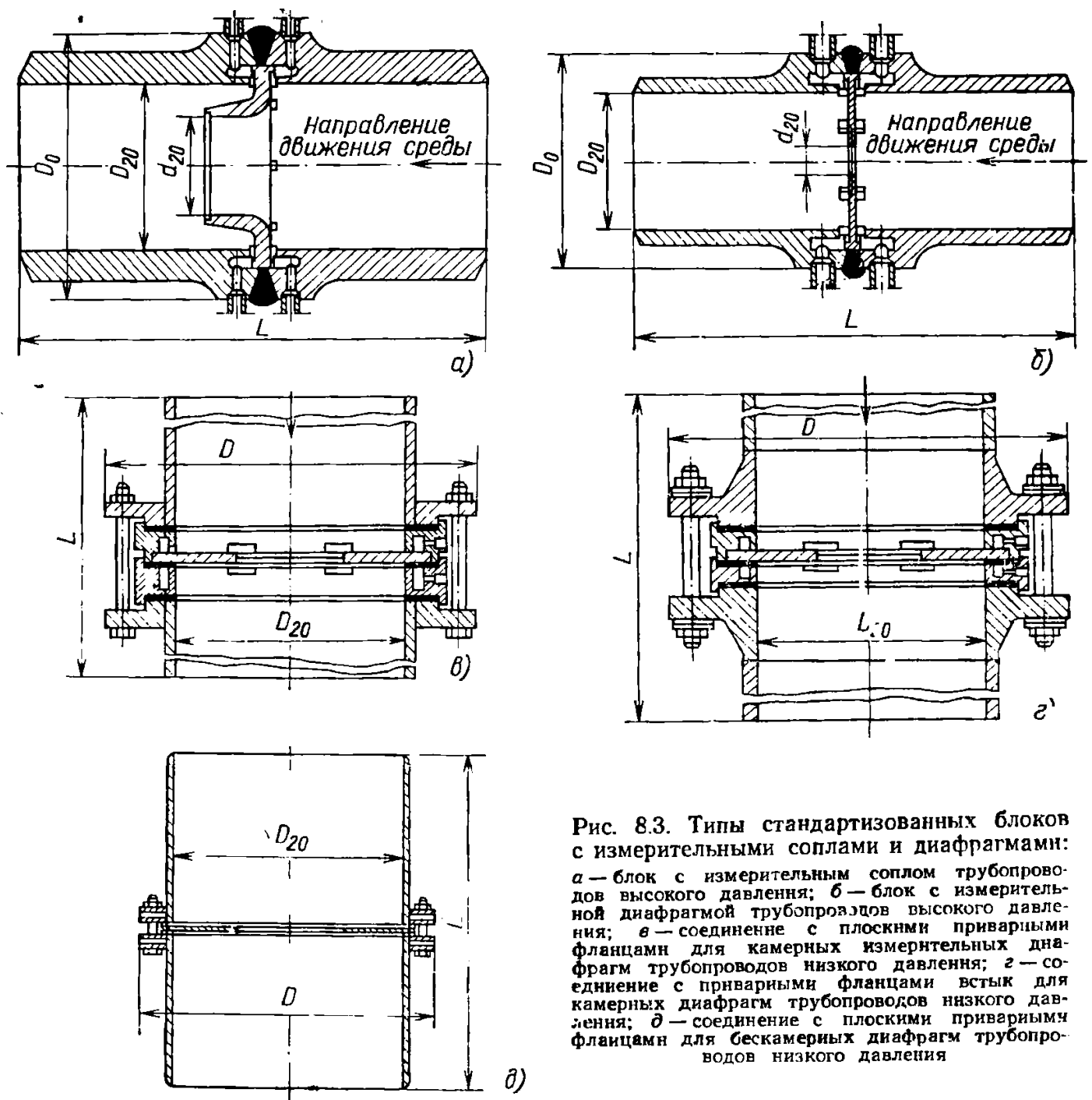


Рис. 8.3. Типы стандартизованных блоков с измерительными соплами и диафрагмами: а — блок с измерительным соплом трубопроводов высокого давления; б — блок с измерительной диафрагмой трубопроводов высокого давления; в — соединение с плоскими приварными фланцами для камерных измерительных диафрагм трубопроводов низкого давления; г — соединение с приварными фланцами встык для камерных диафрагм трубопроводов низкого давления; г' — соединение с плоскими приварными фланцами для бескамерных диафрагм трубопроводов низкого давления

12X18H10T по ГОСТ 5632-72\* или согласно условному обозначению «а/б», принятому в ГОСТ 14321-73\*; 2) для агрессивных сред: корпус камеры — сталь марки 12X18H10T, диск — сталь марки 10X17H13M2T по ГОСТ 5632-72\* или согласно условному обозначению «б/в», принятому в ГОСТ 14321-73\*.

Кроме того, при заказе должен быть указан тип соединения диафрагмы с импульсными трубками, уравнительными конденсационными или уравнительными сосудами по приложению 1 к ОСТ 14321-73\* с учетом действующих ограничений по номенклатурам заводов-изготовителей.

Заказ бескамерных диафрагм должен производиться в соответствии с ГОСТ 14322-77\* «Диафрагмы бескамерные на  $p_y$  до 320 кгс/см<sup>2</sup>», при этом в качестве материала диафрагмы (диска) принимается сталь марки 12X18H10T по

8\*

ГОСТ 5632-72\* или согласно условному обозначению «б» этого ГОСТ.

Действительный внутренний диаметр трубопровода перед сужающим устройством  $D_{20}$  в опросном листе следует указывать равным внутреннему диаметру патрубка фланцевого соединения перед диафрагмой, принятому в отраслевых стандартах, причем для соединения с фланцами, приваренными встык, внутренние диаметры патрубка и фланца должны быть одинаковыми на длине, равной не менее  $2D_{20}$  (см. п. 8.4.3).

При заказе дифференциальных манометров для расходомеров, подлежащих государственной проверке или имеющих коррекцию по давлению контролируемой среды, следует предусматривать возможность измерения давления у входного торца сужающего устройства. Для этой цели должно использоваться одно из отверстий, пред-

назначенных для измерения перепада давления. Одновременное использование отверстия для измерения избыточного давления и перепада давления не допускается. При заказе диафрагм необходимость наличия такого отверстия должна указываться в опросных листах, а его расположение должно отображаться на эскизе. При заказе соединения для бескамерных диафрагм выполнение отверстия для измерения давления должно быть оговорено в соответствующей спецификации.

Примеры условного обозначения диафрагм по ГОСТ для стационарных трубопроводов низкого давления:

1) камерная диафрагма на условное давление 25 кгс/см<sup>2</sup> для трубопровода с условным проходом 100 мм исполнения II, материал корпусов камер — сталь марки 35 до ГОСТ 1050-74\*, материал диска — сталь марки 12X18H10T по ГОСТ 5632-72\*; диафрагма образует с приварными импульсными трубками соединение 2 по приложению 1 ГОСТ 14321-73\*: Диафрагма ДК25-100 II-а/6-2 ГОСТ 14321-73\*;

2) бескамерная диафрагма на условное давление 10 кгс/см<sup>2</sup> для трубопровода с условным проходом 500 мм, материал диска — сталь марки 12X18H10T по ГОСТ 5632-73\*: Диафрагма ДБ10-500-6 ГОСТ 14322-77\*.

#### 8.4.3. ТРЕБОВАНИЯ К УСТАНОВКЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

В целях обеспечения наиболее точных показаний расхода Правилами 28-64 «Измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами» Государственного комитета стандартов, мер и измерительных приборов СССР предъявляется ряд требований к выполнению камерных и бескамерных сужающих устройств (размерам, допускам, материалам, размерам камер и т. д.), в том числе и к их установке.

Участок трубопровода, на котором устанавливается измерительное сужающее устройство, должен быть прямым, с круглым сечением (по результатам внешнего осмотра). Действительный внутренний диаметр участка трубопровода перед сужающим устройством определяется как среднее арифметическое результатов измерений в двух поперечных сечениях: непосредственно у сужающего устройства и на расстоянии  $2D_{20}$  от него, причем в каждом из сечений следует производить измерения не менее чем в четырех диаметральных направлениях.

Внутренний диаметр участка трубопровода на длине  $2D_{20}$  за сужающим устройством может отличаться от внутреннего диаметра участка перед сужающим устройством не более чем на  $\pm 2\%$ . На внутренней поверхности участка трубопровода длиной  $2D_{20}$  перед сужающим устройством и за ним не должно быть никаких уступов,

Таблица 8.4. Зависимость внутренних диаметров трубопроводов  $D_{20}$  и наружных диаметров  $D_H$  от их условных проходов  $D_y$  для камерных диафрагм по ГОСТ 14321-73\*

Условный проход $D_y$ , мм	Диаметры трубопроводов, мм		
	$D_H$	$D_{20}$	
		$P_y$ 6, 16 и 25 кгс/см <sup>2</sup>	$P_y$ 40 и 100 кгс/см <sup>2</sup>
50	57	50—52	50—53
65	76	53—72	54—72
80	89	73—85	73—84
100	108	86—104	85—102
125	133	105—120	103—126
150	159	130—154	127—151
(175)	194	155—188	152—184
200	219	180—212	185—209
(225)	245	213—236	210—232
250	273	237—255	233—260
300	325	266—316	261—309
350	377	317—366	310—359
400	426	367—415	360—406
(450)	480	416—466	407—460
500	530	467—515	461—510

Таблица 8.5. Зависимость внутренних диаметров трубопроводов  $D_{20}$  и наружных диаметров  $D_H$  от их условных проходов  $D_y$  для бескамерных диафрагм по ГОСТ 14322-77\*

Условный проход $D_y$ , мм	Диаметры трубопроводов, мм				
	$D_H$	$D_{20}$ для $P_y$ 2,5; 6; 10 и 16 кгс/см <sup>2</sup>			
		$D_{20}$ для $P_y$ , кгс/см <sup>2</sup>			
		160	200	250	320
400	426	398—418			
(450)	(480)	411—470			
500	530	471—520			
600	630	521—620			
(700)	(720)	621—710			
800	820	711—808			
(900)	(920)	809—908			
1000	1020	909—1008			
1200	1120	1009—1108			
	1220	1109—1208			
1400	1320	1209—1308			
	1420	1309—1408			
1600	1520	1409—1508			
	1620	1509—1608			
		$D_{20}$ для $P_y$ , кгс/см <sup>2</sup>			
		160	200	250	320
50	57	50—51	47—50	—	—
	60	—	—	50—51	45—49
65	76	66—68	64—67	—	—
	83	—	—	67—72	63—69
80	89	78—80	75—78	—	—
	102	—	—	82—88	78—85
100	108	95—97	92—95	—	—
	114	—	—	90—98	85—94
125	133	117—120	111—117	—	—
	140	—	—	112—120	106—120
150	159	139—143	135—140	—	—
	168	—	—	134—144	128—138
200	219	191—197	185—193	—	—
	245	—	—	197—211	185—205
250	273	213—247	205—230	—	—
	299	—	—	239—265	227—251
300	325	287—293	277—287	—	—
	351	—	—	283—303	267—299
*350	377	333—341	321—333	—	—
	426	—	—	349—370	326—358
400	426	376—386	362—370	—	—
	465	—	—	375—405	353—389

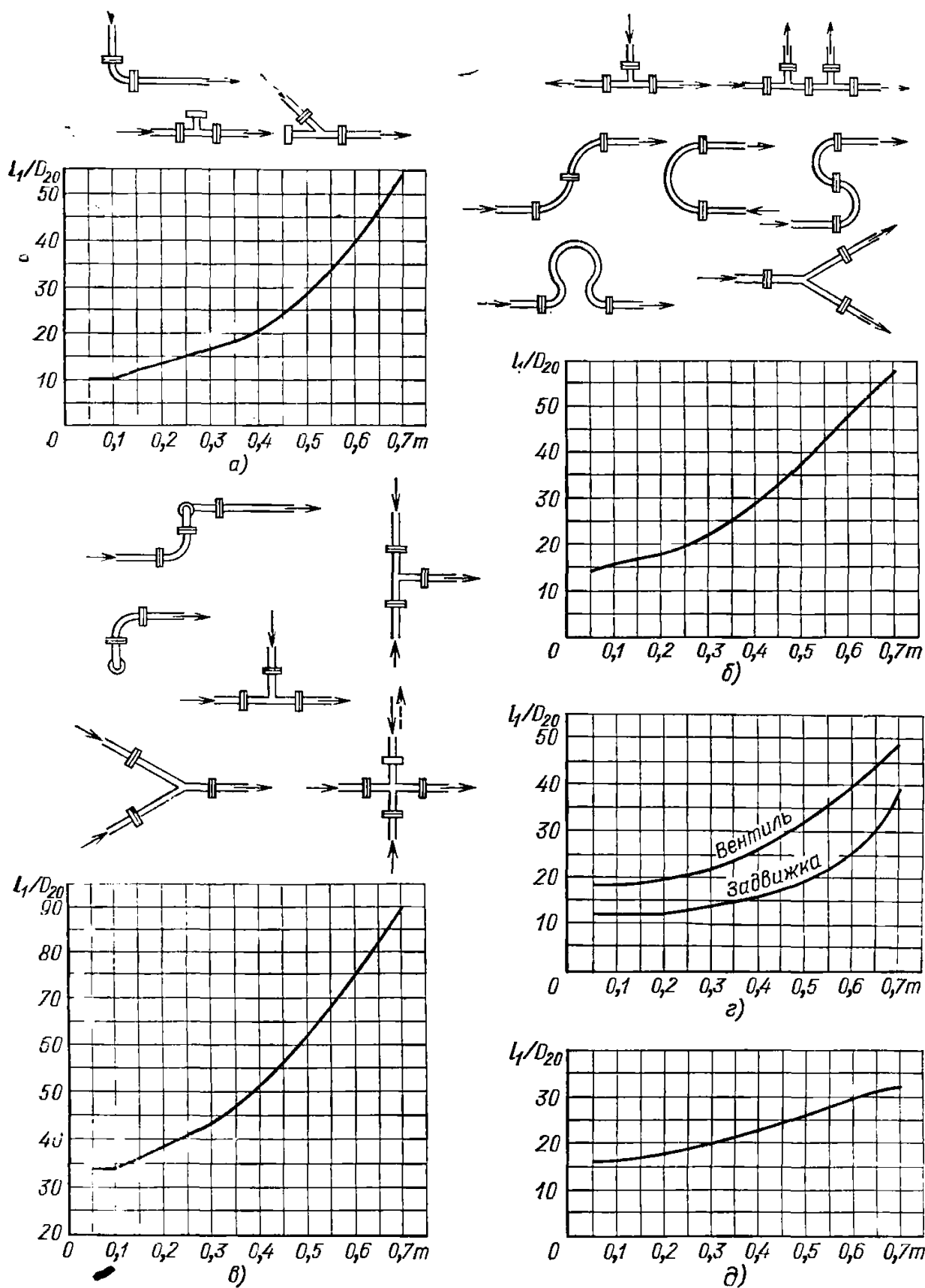


Рис. 8.4. Необходимые наименьшие длины прямых участков трубопровода перед сужающим устройством:

а — колено или тройник; б — группа колен в одной плоскости или разветвляющийся поток; в — группа колен в разных плоскостях или смешивающиеся потоки; г — полностью открытые вентиль и задвижка; д — сходящийся или расходящийся конус (конусность 1:3)

а также заметных невооруженным глазом наростов, сварных швов и т. п.

Действительный внутренний диаметр трубопровода должен быть равен диаметру  $D_{20}$ , принятому для расчета сужающего устройства.

Рекомендуемые зависимости внутренних диаметров трубопроводов  $D_{20}$  и наружных диаметров  $D_n$  от их условных проходов  $D_y$  для камерных диафрагм по ГОСТ 14321-73\* приведены в табл. 8.4, а для бескамерных диафрагм по ГОСТ 14322-77\* — в табл. 8.5.

Если сужающее устройство устанавливается между приваренными встык фланцами, внутренний диаметр фланца должен быть равен действительному внутреннему диаметру трубопровода  $D_{20}$ .

При высоте фланца, превышающей  $2D_{20}$ , допускается сопряжение отверстия фланца и трубопровода по переходному конусу, имеющему уклон (в сторону сужающего устройства) не более 1:10 и плавное скругление на концах, при этом длина цилиндрической части отверстия фланца должна быть не менее  $2D_{20}$ . В качестве диаметра  $D_{20}$  в этом случае принимается диаметр цилиндрической части отверстия фланца.

При установке на стационарных трубопроводах измерительных (сужающих) устройств должны соблюдаться следующие положения:

1. Установка сужающих устройств непосредственно у местных сопротивлений (колена, задвижки, вентили, переходы и т. п.) не разрешается. Необходимые наименьшие длины  $l_1$  прямых участков трубопровода постоянного диаметра перед сужающим устройством для наиболее часто встречающихся местных сопротивлений приведены в табл. 8.6 и на рис. 8.4.

2. Регулирующие задвижки и вентили рекомендуется устанавливать за сужающим устройством. Допускается их установка перед сужающим устройством на расстоянии не менее  $100 D_{20}$ .

3. Если перед сужающим устройством последовательно расположено несколько местных сопротивлений (кроме колен в одной плоскости), то необходимая наименьшая длина прямого участка трубопровода между сужающим устройством и ближайшим к нему сопротивлением определяется по п. 1 соответственно заданному значению

Таблица 8.6. Наименьшие длины прямых участков трубопроводов постоянного диаметра перед сужающим устройством для некоторых местных сопротивлений

Местное сопротивление	Необходимая длина прямого участка $l_1$ , мм
Симметричный резной уступ в трубопроводе или расходомерное сужающее устройство с модулем $m > 0,3$	$30D_{20}$
Гильза термометра диаметром $d'$ : $0,03D_{20} < d' \leq 0,13D_{20}$ $d' \leq 0,03D_{20}$	$20D_{20}$ $5D_{20}$

модуля  $m$ , а необходимая наименьшая длина прямого участка трубопровода между двумя соседними сопротивлениями определяется как половина длины, найденной по рис. 8.4 при значении модуля 0,5 для того из двух сопротивлений, которое более удалено от сужающего устройства.

Пример. По направлению потока расположены группа колен в разных плоскостях, затем полностью открытая задвижка и далее сужающее устройство с модулем 0,36.

Требуемое расстояние между задвижкой и сужающим устройством составит  $14D_{20}$  (для  $m=0,36$  по рис. 8.4,з), между группой колен и задвижкой —  $31,5D_{20}$  (половина длины для  $m=0,5$  по рис. 8.4,в). Общее расстояние равно  $45,5D_{20}$ . Однако по рис. 8.4,в длина прямого участка между группой колен и сужающим устройством с модулем  $m=0,36$  должна быть не менее  $48D_{20}$ . Это значение и должно приниматься в качестве окончательного.

4. Необходимые наименьшие длины  $l_2$  прямых участков трубопроводов за сужающим устройством указаны на рис. 8.5 (длина  $l_2$  отсчитывается от входного торца диафрагмы или сопла).

5. Длина прямого участка трубопровода перед сужающим устройством или за ним может быть сокращена вдвое по сравнению с размерами, указанными в п. 1 и 4. В этом случае рекомендуется измерять перепад давления через кольцевые камеры. Из-за уменьшения длины прямого участка трубопровода возникает погрешность измерения расхода, равная 0,5%. При применении кольцевых камер длина прямого участка перед сужающим устройством может быть сокращена в 3 раза по сравнению с длинами, указанными на рис. 8.4. Возникающая при этом погрешность измерения расхода составляет 1%.

Сокращенная длина прямого участка перед сужающим устройством в любом случае не должна быть меньше  $6D_{20}$ .

Госповеритель предъявляет особенно жесткие требования к длине прямых участков до и после сужающих устройств, по показателям приборов которых ведутся денежные расчеты тепловой электростанции с потребителями. Такие сужающие устройства, как правило, устанавливаются на

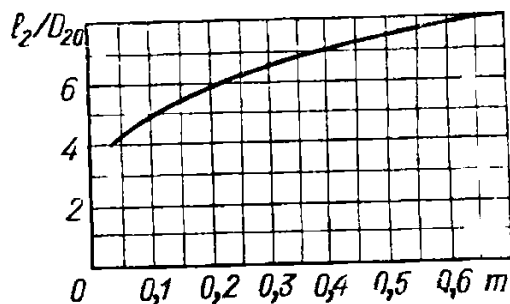


Рис. 8.5. Необходимые наименьшие длины прямых участков  $l_2$  трубопровода за сужающим устройством

трубопроводах пара, подаваемого на производство, возврата конденсата с производства, выводов сетевой воды с электростанции, водопроводной воды и газа. Для этих магистралей определение длин прямых участков должно производиться по приведенным выше п. 1—3. Для сужающих устройств внутристанционных трубопроводов, по которым не производится расчетов с потребителями, длины прямых участков до и после места их установки могут выбираться по п. 5.

Измерительные диафрагмы должны устанавливаться навстречу потоку измеряемой жидкости острой кромкой диафрагмы, а соединения с соплами — закругленной частью сопла.

## 8.5. НАБЛЮДЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ЗА МЕТАЛЛОМ ТРУБОПРОВОДОВ И ИХ ТЕПЛОВЫМИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ

### 8.5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для повышения надежности работы станционных трубопроводов в процессе монтажа и эксплуатации должны проводиться систематические контроль и наблюдение за состоянием металла трубопроводов пара и горячей воды, запорной и регулирующей арматуры для пара, литых деталей, крепежа и т. д.

Контроль необходим для предотвращения повреждений, которые могут быть вызваны:

1) технологическими дефектами в металле деталей (пленами, закатами, трещинами, подрезами, раковинами, волосовинами и т. п.), недопустимой разностенностью труб и другими подобными дефектами, являющимися концентраторами напряжений;

2) недопустимой ползучестью металла труб и других деталей трубопровода из-за возможного превышения рабочей температуры металла над расчетной, несоответствием марки стали проектной, неудовлетворительными микроструктурой и механическими свойствами металла при поставке, а также нестабильностью структуры и фазового состава металла в процессе эксплуатации;

3) воздействием больших компенсационных напряжений и напряжений от весовых нагрузок вследствие их неверного расчета и неправильной регулировки системы крепления или ее нарушения в процессе эксплуатации (образование защемлений, повреждений опор и т. п.);

4) воздействием повышенных и переменных температурных напряжений, возникающих главным образом из-за нарушения нормального режима пуска и останова энергооборудования и вызывающих тепловую усталость металла, изменение размеров и формы деталей;

5) недостаточной пластичностью металла и сварных соединений в исходном состоянии и их охрупчиванием в процессе эксплуатации и др.

В связи с этим на тепловых электростанциях должны проводиться контроль и наблюдение за соответствием металла техническим условиям его поставки (ГОСТ, ТУ, ОСТ), правильностью выполнения монтажно-сборочных работ в соответствии с проектом и за качеством сварных соединений, ростом остаточных деформаций, изменениями структуры и механических свойств металла, состоянием сварных соединений в процессе эксплуатации, тепловыми перемещениями трубопроводов, температурным режимом работы металла во время пусков, остановов и эксплуатации оборудования, состоянием поверхностей деталей (отсутствием на них трещин и других дефектов), системой креплений трубопроводов.

Возможность проведения контроля и наблюдения за металлом трубопроводов в процессе эксплуатации предусматривается при проектировании и монтаже.

Контролю и наблюдению подлежат все трубопроводы, арматура, фасонные детали, фланцевые соединения и крепеж, фактически работающие при температуре 450°C и выше. Питательные трубопроводы высокого давления с  $p=90$  кгс/см<sup>2</sup> и выше подвергаются периодическому контролю.

В процессе эксплуатации периодическому контролю должны подвергаться следующие детали трубопроводов, работающие при температуре 450°C и выше: корпуса арматуры и другие литые детали паропроводов с  $D_y 100$  мм и более, гибы труб главных трубопроводов острого пара и горячего промежуточного перегрева.

Пуск трубопроводов и оборудования в эксплуатацию после окончания монтажа или ремонта может производиться лишь после составления лабораторией металлов электростанции или РЭУ заключения о выполнении всего установленного объема контроля.

Для учета температурного режима работы металла должна быть организована систематическая обработка суточных графиков температуры пара за каждым котлом и в магистральных паропроводах. По всем паропроводам с температурой пара 450°C и выше должно учитываться превышение температуры пара над номинальной.

Трубопроводы с внутренним диаметром 150 мм и более, работающие при температуре среды 300°C и выше, должны быть оборудованы устройствами для контроля и регистрации их температурных перемещений.

В процессе эксплуатации должны вестись наблюдения за температурными перемещениями трубопроводов, за исправностью опор, пружин, тяг, хомутов опор, натяжением пружин, отсутствием защемлений и вибраций трубопроводов. Наблюдение

ния проводятся до и после пуска трубопровода (в холодном состоянии и в горячем — при рабочих параметрах).

### 8.5.2. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА РОСТОМ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ, ИЗМЕНЕНИЯМИ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ПАРОПРОВОДОВ И ГРАФИТИЗАЦИЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Контроль за остаточной деформацией труб трубопроводов вследствие ползучести осуществляется путем периодического измерения их диаметров. При этом остаточная деформация не должна превышать допустимой (0,5% за 50 тыс. ч и 1% за 100 тыс. ч эксплуатации). Контролю подлежат все действующие паропроводы внутренним диаметром не менее 100 мм, длительность работы которых превышает 3 тыс. ч в год.

Измерение остаточной деформации производится на паропроводах, изготовленных из углеродистой стали, стали марки 15ГС и хромомолибденовой стали, работающих при температуре 450°C и выше, хромомолибденованадиевой стали — при 500°C и выше, аустенитной стали — при 540°C и выше.

Диаметр паропроводов измеряются на всех прямых участках труб длиной не менее 1,5 м между сварными или фланцевыми соединениями, а также на прямом участке гибов труб. Измерения производятся на середине участка, но не около опор или других охватывающих поясов.

Для измерения ползучести паропроводов, выполненных из перлитных и ферритно-мартенситных сталей, к ним привариваются бобышки в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 8.6). Бобышки стандартизованы и выпускаются двух типов: в виде цилиндрического наконечника и наконечника с накладкой, имеющего на одном из своих концов резьбу, с помощью которой он ввинчивается в накладку. Наконечник с накладкой, привариваемый сверху и сбоку трубы, обеспечивает возможность подгонки размеров между противоположными бобышками, привариваемыми к трубам под один размер с точностью до 0,1—0,2 мм. После подгонки бобышек под один размер наконечник прихватывается сваркой к резьбовой накладке. В целях обеспечения точности измерений противоположные бобышки должны располагаться строго по диаметру (а не по хорде) трубы перпендикулярно касательным в этих точках трубы.

Измерения остаточных деформаций паропроводов разрешается производить только в нерабочем состоянии при минимально возможной температуре трубы (не более 50°C). Все места измерений должны иметь надежную съемную изоляцию (равноценную по тепловым свойствам изоляции паропроводов) и указатели, выступающие над поверхностью изоляции.

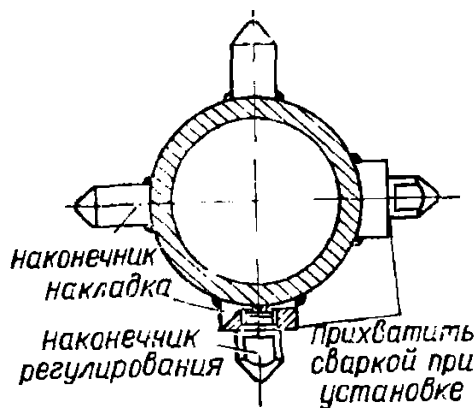


Рис. 8.6. Приварка бобышек на паропроводе

Деформация паропроводов измеряется специальными шаблонами (скобами) по бобышкам. Измерение ползучести труб контролируемых участков паропроводов с температурой пара 450°C и выше осуществляется микрометрами.

В целях наблюдения за изменениями механических свойств и структуры металла трубопроводов из-за длительного действия высоких температур и напряжений на главных паропроводах и горячих нитках промежуточного перегрева, работающих с температурой перегретого пара 450°C и выше, выделяются контрольные участки. Если главный паропровод и паропровод горячего промежуточного перегрева изготовлены из сталей различных марок, то контрольный участок устанавливается на трубах каждой марки стали. Как правило, участки эти располагаются вблизи котла (по одному на каждой магистрали).

Трубы для контрольного участка выбираются и поставляются заводом-изготовителем по возможности из числа труб, изготовленных из плавок с механическими свойствами, соответствующими нижним пределам требований ТУ, с наименее выгодным соотношением химического состава и с наиболее неблагоприятной структурой. Рекомендуются также, чтобы толщина стенки труб, предназначенных для контрольных участков, не превышала номинальной или даже имела минусовый допуск.

Длина поставляемой на монтаж контрольной трубы должна быть не менее 4,5 м. Контрольный участок должен быть прямолинейным, длиной (между сварными соединениями) не менее 4 м, свободным от каких-либо опор и охватывающих поясов и должен располагаться на горизонтальных участках паропровода. На трубе контрольного участка в трех сечениях (рис. 8.7) устанавливаются бобышки.

До монтажа контрольного участка проводят исследование исходного металла отрезков его концов. При исследовании определяются химический состав металла, в том числе содержание легирующих элементов в карбидах и (факультативно) фазовый состав карбидов, твердость (НВ)



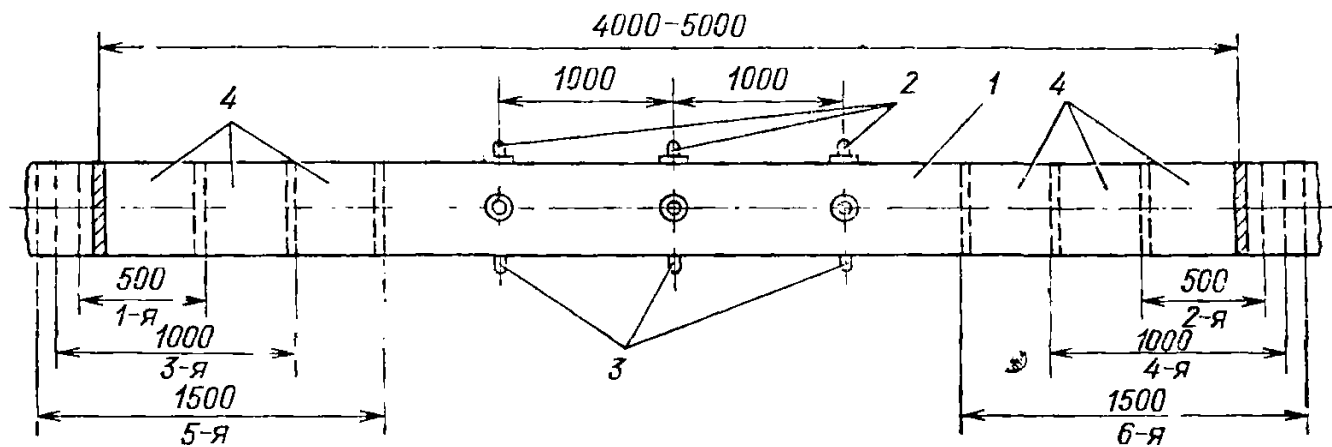


Рис. 8.7. Контрольный участок на паропроводах для наблюдения за структурными изменениями металла труб:

1 — труба; 2 — бобышки (наконечник с накладкой); 3 — бобышки (наконечник); 4 — вырезаемые контрольные участки трубы

металла по поперечному сечению, механические свойства металла при комнатной и рабочей температурах (пределы прочности и текучести, относительные удлинение и сужение, ударная вязкость), микроструктура и неметаллические включения.

Особенно тщательным исследованиям подвергается микроструктура исходного состояния металла, так как она служит эталоном для последующего сравнения со структурой того же металла при эксплуатации.

Для наблюдения за структурными изменениями во время работы паропровода из контрольного участка периодически производят вырезки по схеме на рис. 8.7 совместно с прилегающими сварными соединениями, причем 1-я и 2-я вырезки производятся длиной по 500 мм, 3-я и 4-я — по 1000 мм, 5-я и 6-я — по 1500 мм. Образцы для испытаний должны вырезаться только механическим путем. Если вырезка патрубка для исследования из контрольного участка была произведена газовой или электросваркой, то места вырезки образцов должны быть удалены не менее чем на 20 мм от среза конца трубы. Для вварок взамен вырезанных патрубков контрольных участков на электростанции используются запасные трубы, оставленные при монтаже паропроводов, которые передаются на ответственное хранение. Заказ на эти трубы включается проектной организацией в поставку паропроводов. Вырезка образцов производится в сроки, определяемые [9].

Периодический выборочный контроль механических свойств металла паропроводов с температурой среды от 250 до 450°C с давлением 16 кгс/см<sup>2</sup> и выше должен производиться не реже чем через каждые 100 тыс. ч эксплуатации. Вырезки образцов в этом случае делают из каждые 50 м паропровода. Механические свойства металла труб, находящихся в эксплуатации, должны удовлетворять требованиям расчета на прочность трубопровода и Правил Госгортехнадзора СССР.

Наблюдению за графитизацией подде-

жат паропроводы, фасонные, литые детали и корпуса арматуры, выполненные из молибденовой стали (марок 15М, 20М) и работающие при температуре 475°C и выше, а также выполненные из углеродистой стали и работающие при температуре 440°C и выше.

Местами наиболее интенсивного развития графитизации, на которые должно быть обращено особое внимание при наблюдениях, могут быть зоны термического влияния сварных соединений трубопроводов и других деталей и участки, подвергавшиеся холодной деформации или местным нагревам без последующей полной термообработки. Обследование сварных соединений паропроводов из молибденовой и углеродистой стали и, в первую очередь, сварных соединений труб с литыми деталями на наличие графитизации производится путем металлографического исследования сварных соединений на месте.

### 8.5.3. КОНТРОЛЬ ЗА ТЕПЛОВЫМИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ ПАРОПРОВОДОВ

Контролю за тепловыми перемещениями подлежат все паропроводы с внутренним диаметром  $\geq 150$  мм и температурой 300°C и выше.

Необходимость проведения контроля за тепловыми перемещениями вызвана тем, что изменения температуры пара в паропроводах приводят к изменению их линейных размеров, вследствие чего в паропроводах возникают компенсационные напряжения. Эти напряжения зависят от температуры и свободы перемещения трубопровода в пространстве. Всякого рода заземления, вызываемые неисправностью опор либо ограничением перемещения расположенными вблизи оборудованием или строительными конструкциями, могут привести к резкому возрастанию уровня компенсационных напряжений и тем самым к снижению надежности паропровода. Целью этого контроля являются выявление и устранение заземлений, оценка и обеспечение соответствия размеров фактических



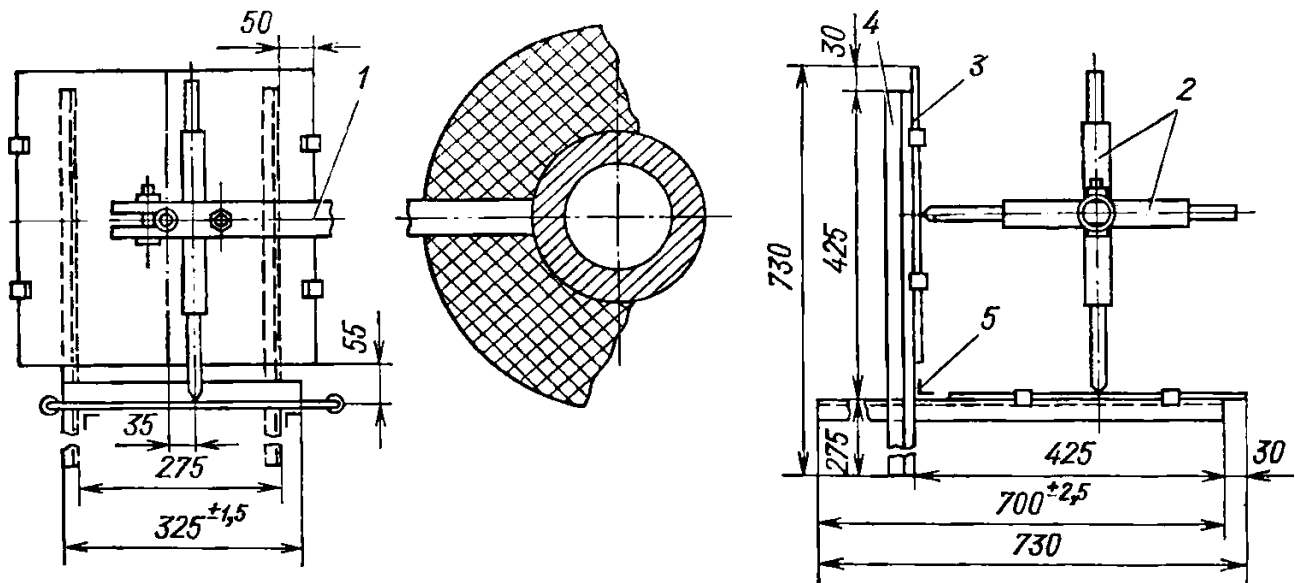


Рис. 8.8. Прибор для контроля перемещений трубопровода:

1 — фиксатор; 2 — корпус; 3 — пластина с прижимом; 4 и 5 — уголки

тепловых перемещений паропровода расчетным, оценка исправности промежуточных опор, регистрация и устранение отклонений режимов работы (забросов воды в горячие паропроводы, гидравлических ударов, вибрации и т. п.) от нормальных.

Средствами для наблюдения за тепловыми перемещениями паропроводов служат специальные приборы контроля, которые должны быть установлены на всех прямолинейных участках паропровода на расстоянии не менее 100 мм от тгиба или сварного соединения и не менее 200 мм от края опоры.

На рис. 8.8 приведен общий вид такого прибора, применяющегося в настоящее время для стационарных трубопроводов.

В проектной документации должна быть выполнена аксонометрическая схема паропровода с нанесением на ней мест установки опор и индикаторов (указателей) тепловых перемещений, а также с указанием данных по регулировке пружин пружинных опор ( $N_{\text{раб}}$ ,  $N_{\text{монт}}$ ,  $N_{\text{св}}$ ), вертикальных тепловых перемещений, видимых перемещений трубопровода вдоль осей  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  в точках установки индикатора и максимальных нагрузок и моментов, действующих на неподвижные опоры ( $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$  и  $M_z$ ). Кроме того, в проекте трубопровода должна быть предусмотрена возможность свободного теплового перемещения его (с учетом изоляции) среди других конструкций, а также обеспечена возможность обслуживания индикаторов и систем опор.

## 8.6. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО КОМПОНОВКЕ И ТРАССИРОВКЕ ТРУБОПРОВОДОВ

При разработке компоновки трубопроводов определяются трассы трубопроводов, способы компенсации тепловых удлинений,

места и типы креплений, расположение арматуры и приводов к ней, а также их типы, места и размеры площадок для обслуживания трубопроводов, места отвода конденсата и воздуха, система дренажей и пр.

Трассировка трубопроводов тесно связана с компоновкой оборудования тепловых электростанций, в которой в свою очередь должна учитываться (в особенности для трубопроводов высокого давления) возможность наиболее целесообразной трассировки трубопроводов.

Выполненная компоновка трубопроводов должна обеспечивать удобство монтажа, обслуживания и ремонта трубопровода, наименьшую массу трубопровода, хорошую компенсацию тепловых удлинений, минимальное гидравлическое сопротивление, простоту и удобство креплений, хороший дренаж, однотипность узлов, максимальное применение нормализованных деталей, возможность расширения станции без переделок трубопроводов с минимальными отключениями ранее установленных агрегатов для присоединения вновь монтируемых трубопроводов.

При разработке трассировки трубопроводов следует принимать во внимание следующие основные положения.

1. Трубопровод должен быть доступен для осмотра во всех своих частях. В местах расположения арматуры и фланцевых соединений должно быть обеспечено достаточно места для производства монтажных и ремонтных работ.

2. Паропроводы с температурой 450°C и выше, требующие периодического контроля роста остаточной деформации металла, должны прокладываться в местах, доступных для постоянного наблюдения. Желательно трассы таких трубопроводов прокладывать на рабочих перекрытиях здания. Для участков, обслуживание которых невозможно осуществить с этих перекрытий,

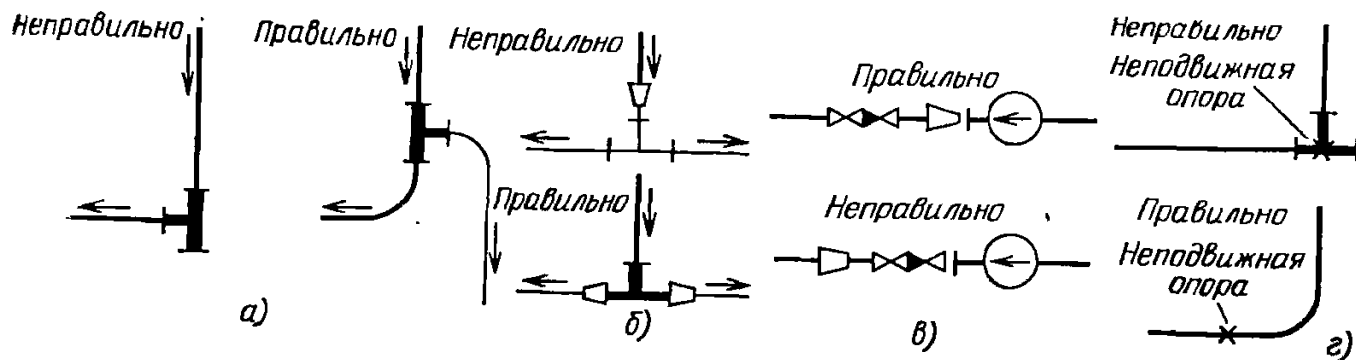


Рис. 8.9. Конструктивные решения, способствующие уменьшению гидродинамических потерь в трубопроводах

должны быть предусмотрены специальные лестницы и площадки.

3. Арматура должна располагаться в местах, удобных для ее эксплуатации, осмотра и ремонта. Наиболее желательным является расположение арматуры, позволяющее обслуживать ее с основных рабочих перекрытий здания. При расположении арматуры, исключающем такое обслуживание, должны предусматриваться приводы дистанционного управления с установкой колонок управления в местах, удобных для эксплуатационного персонала. Для осмотра и ремонта такой арматуры должны быть предусмотрены площадки. При параллельной трассировке нескольких трубопроводов, имеющих арматуру, рекомендуется располагать ее таким образом, чтобы ее можно было обслуживать с общей площадки. Над местом расположения тяжелой арматуры должны быть предусмотрены приспособления для подвески талей.

4. Трассировка трубопроводов должна обеспечивать достаточную их гибкость, чтобы напряжения самокомпенсации, а также силы и моменты, передаваемые трубопроводом на оборудование, не превосходили допускаемых значений. Желательно использовать гибкость трубопроводов при его оптимальной трассировке. Прибегать к искусственному повышению его гибкости путем создания П-образных компенсаторов (см. рис. 1.2), включению дополнительных поворотов и удлинений плеч следует только в тех случаях, когда при наилучшей расстановке неподвижных опор не удается обеспечить компенсацию тепловых удлинений трубопровода. Следует учитывать, что в этом случае увеличиваются масса и стоимость трубопровода, а также его гидравлическое сопротивление. Наиболее простым способом увеличения гибкости трубопровода является минимальная установка неподвижных опор на данном трубопроводе. Однако при этом смещения трубопроводов в отдельных точках могут быть настолько большими, что будут затруднены выбор и работа пружинных подвесок, а также могут возникнуть вибрации трубопровода. Для трубопроводов низкого давления компенсация тепловых удлинений может быть

решена с помощью линзовых компенсаторов.

5. Для уменьшения гидродинамических потерь трубопроводов с установленным диаметром следует:

1) избегать излишних поворотов трассы, применять спрямления трассы (когда это возможно) с целью уменьшения угла поворота и длины трассы;

2) избегать применения сварных и литых отводов. Эти отводы следует устанавливать при стесненной компоновке и отсутствии в стандартах необходимого гнутого отвода;

3) тройники устанавливать таким образом, чтобы главный поток среды проходил тройник без поворота, как это показано на рис. 8.9,а;

4) при необходимости врезки трубы в трубопровод меньшего диаметра применять тройник равный диаметру врезаемой трубы (рис. 8.9,б);

5) при больших скоростях среды в напорном патрубке насоса, которые в отдельных случаях могут достигать 5—7 м/с, арматуру устанавливать после перехода трубопровода на больший диаметр. Переход на больший диаметр следует присоединять непосредственно к патрубку насоса (рис. 8.9,в);

6) при диаметре всасывающего патрубка насоса, меньшем диаметра присоединяемой трубы, переход на меньший диаметр устанавливать непосредственно перед всасывающим патрубком насоса;

7) в случае необходимости неподвижного крепления вблизи поворота (рис. 8.9,г) нельзя применять тройники вместо колен.

6. Трассировка трубопроводов должна производиться с наименьшим количеством нижних и верхних точек, требующих устройства дренажных узлов и воздушников.

7. Трассировка трубопроводов, включая трубопроводы малых диаметров, должна производиться с учетом кабельной раскладки. Трассы основных потоков кабелей должны быть свободными от трубопроводов.

8. В трубопроводах должна иметься

возможность выполнения всех видов контроля, предусматривающихся действующими правилами.

9. Фланцевые соединения в трубопроводах должны использоваться только для присоединения трубопровода к оборудованию, имеющему фланец, к фланцевой арматуре, для присоединения фланцевых измерительных диафрагм и для монтажных стыков трубопроводов с футеровкой или антикоррозийным покрытием.

10. Монтажные припуски на деталях и блоках предусматриваться не должны. Для компенсации возможных неточностей при монтаже, а также для контрольных испытаний сварных стыков в сводных спецификациях к рабочему проекту трубопровода предусматривается запасный отрезок трубы (каждого диаметра).

11. Трассировку трубопровода следует производить с учетом возможности его крепления, при этом следует стремиться к максимальному использованию для этих целей строительных конструкций здания. Крепление трубопроводов может производиться к колоннам, стенам, на специальных опорных конструкциях на полу, а также к перекрытиям, при этом следует учитывать нагрузки, передаваемые на них опорами и подвесками, крепящимися к ним.

12. Допускается прокладка стационарных трубопроводов в каналах проходного или непроходного типов. При прокладке трубопровода на полу в местах оперативных проходов должны быть устроены специальные переходные мостики с лестницами.

13. Трубопроводы как в помещениях, так и в каналах могут укладываться в один или несколько рядов в плане и в один или несколько ярусов по высоте.

Расстояния от трубопроводов до стен помещений или каналов, между соседними трубами в плане и по высоте, а также от трубопроводов до пола и перекрытий должны допускать возможность монтажа, ремонта, наложения изоляции и осмотра трубопровода. Рекомендуемые расстояния от оси трубы до стены и от оси трубы до середины зазора между поверхностями изоляции соседних труб приведены соответственно в табл. 8.7 и 8.8. Расстояние от оси трубы до колонн или пилястр может быть уменьшено на 50 мм по сравнению с расстоянием от стены при условии, что против колонны или пилястры не будут расположены сварные швы или бобышки измерения ползучести металла, где изоляция трубопровода должна быть съёмной.

Расстояние между поверхностями неизолированных труб из условия их сварки рекомендуется принимать не менее 200 мм.

14. Подземная прокладка трубопроводов 1-й категории совместно с продуктопроводами запрещается. При подземной прокладке трубопроводов 2-й, 3-й и 4-й категорий допускается совместная прокладка других трубопроводов (нефтепроводов, воздухопроводов и др.), за исключением

Таблица 8.7. Рекомендуемые расстояния от оси трубы до стены

Наружный диаметр трубы $D_H$ , мм	Расстояния, мм					
	Трубы без изоляции	Трубы с изоляцией при температуре среды, °C				
		< 150	150—200	250—300	350—450	510—570
76	250	250	275	275	300	350
89	250	250	275	300	300	350
108	250	275	300	300	325	375
133	275	300	325	350	350	375
159	275	300	325	350	350	400
168	300	325	325	350	375	400
194	300	325	350	375	400	425
219	325	350	375	375	400	450
245	325	350	375	400	425	450
273	350	375	400	425	450	475
325	375	400	425	450	475	500
377	400	425	450	475	500	525
426	425	450	475	500	525	575
465	450	475	500	500	550	600
480	450	475	500	525	550	600
530	475	500	525	550	575	625
630	525	550	575	600	625	675
720	575	600	625	650	650	725
820	625	650	675	700	700	775
920	675	700	725	750	750	825
1020	725	750	775	800	—	—
1220	825	850	875	900	—	—
1420	925	950	975	1000	—	—

трубопроводов с химически едкими, ядовитыми и легковоспламеняющимися летучими веществами.

15. Для возможности компенсации трубопроводов при бесканальной прокладке в местах их поворота должны устраиваться непроходные каналы.

16. При воздушной прокладке трубопроводов через улицы и проезжие дороги высота расположения трубопроводов от

Таблица 8.8. Рекомендуемые расстояния от оси трубы до середины зазора между поверхностями изоляции соседних труб

Наружный диаметр трубы $D_H$ , мм	Расстояния, мм					
	Трубы без изоляции	Трубы с изоляцией при температуре среды, °C				
		< 150	150—250	250—300	350—450	510—570
76	150	175	200	200	225	250
89	150	175	200	225	225	250
108	150	200	225	225	250	275
133	175	225	250	275	275	300
159	180	225	250	275	275	300
168	180	250	250	275	300	325
194	200	250	275	300	325	350
219	225	275	300	300	350	375
245	225	275	300	325	350	375
273	250	300	325	350	375	400
325	275	325	350	375	400	425
377	300	350	375	400	425	450
426	325	375	400	425	450	500
465	350	400	425	450	475	525
480	350	400	425	450	475	525
530	375	425	450	475	500	550
630	425	475	500	525	550	630
720	475	525	550	575	600	675
820	525	575	600	625	650	725
920	575	625	650	675	700	775
1020	625	675	700	725	—	—
1220	725	775	800	825	—	—
1420	825	875	900	925	—	—

уровня проезжей части до наружной поверхности изоляции должна быть не менее 4500 мм. При прокладке через железнодорожное полотно расстояние от головки рельса до наружной поверхности изоляции должно быть не менее 6400 мм, а для электрифицированных дорог — не менее 7000 мм.

17. При надземной прокладке трубопроводов на эстакадах или отдельно стоящих опорах допускается совместная прокладка трубопроводов всех категорий с технологическими трубопроводами различного назначения, за исключением прокладки в галереях эстакадного типа, а также случаев, когда такая прокладка противоречит требованиям правил безопасности.

18. При прокладке трубопроводов в полупроходных каналах высота каналов в свету должна быть не менее 1,4 м, а ширина прохода между изолированными трубопроводами — не менее 0,5 м.

19. Высота камер для обслуживания подземных трубопроводов должна быть не менее 2 м в свету, ширина боковых проходов в камерах — не менее 0,6 м.

21. Камеры для обслуживания подземных трубопроводов 1-й — 3-й категорий должны иметь не менее двух люков с лестницами или скобами. В камерах трубопроводов внутренней площадью до 2,5 м<sup>2</sup>, а также в камерах трубопроводов 4-й категории допускается устройство одного люка.

22. Тоннели должны снабжаться входными люками с лестницами или скобами. Расстояние между люками должно быть не более 300 м, а при прокладке в тоннелях продуктопроводов — не более 50 м.

23. Горизонтальные участки трубопроводов должны прокладываться с соответствующими уклонами.

24. Вварка штуцеров, дренажных труб, бобышек и других деталей в сварные швы, а также в гнутые элементы (в места гибов) трубопроводов не допускается. В порядке исключения на гibaх может быть допущена вварка одного штуцера (трубы) внутренним диаметром не более 20 мм. В сварном шве или зоне термического влияния можно размещать отдельные отверстия диаметром не более 5 мм для приварки труб или штуцеров измерительных устройств.

25. Сварные поперечные швы трубопроводов должны располагаться не менее чем в 200 мм от края опоры.

26. Чугунную арматуру на стационарных трубопроводах не допускается устанавливать на газопроводах горючих газов и мазутопроводах с условным проходом 50 мм и более, на трубопроводах воды и пара с условным проходом 50 мм и более и температурой теплоносителя выше 120°C, на маслопроводах, на трубопроводах от атмосферных деаэраторов к питательному насосу, на трубопроводах всех диаметров с температурой теплоносителя выше 120°C при арматуре, имеющей электропривод.

27. Задвижки и вентили, требующие для своего открытия или закрытия вра-

щающий момент более 50 кгс·м, должны иметь электроприводы. Помимо того, задвижки, управление которыми должно производиться со щитов управления, а также задвижки, участвующие в схемах автоматизации и блокировки станций, должны также иметь электроприводы.

28. Арматуру, имеющую дистанционный привод (колонковый), следует располагать в местах с малыми тепловыми перемещениями трубопровода.

29. Тяжелые задвижки следует располагать на горизонтальных участках трубопровода. Установку этой арматуры на вертикальных участках, даже в том случае, если это допускается для устанавливаемого типа арматуры заводами-изготовителями, следует избегать, так как это приводит к усложнению монтажа и ремонта.

## 8.7. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Гидравлическому испытанию с целью проверки прочности и плотности трубопроводов и их элементов, а также всех сварных и других соединений подлежат: 1) все элементы и детали трубопроводов; гидравлическое испытание указанных элементов и деталей не является обязательным, если они подвергались 100%-ному контролю ультразвуком или иным равноценным методом неразрушающей дефектоскопии; 2) блоки трубопроводов; гидравлическое испытание их не является обязательным, если все составляющие их элементы были подвергнуты испытанию согласно п. 1, а все выполненные при их изготовлении и монтаже сварные соединения проверены методами неразрушающей дефектоскопии (ультразвуком или просвечиванием) по всей протяженности; 3) трубопроводы всех категорий со всеми их элементами и арматурой после окончания монтажа.

Допускается проведение гидравлического испытания отдельных и сборных элементов совместно с трубопроводом, если при изготовлении или монтаже проведение их испытания отдельно от трубопровода невозможно.

Трубопроводы в сборном виде, их блоки и отдельные элементы должны подвергаться гидравлическому испытанию пробным давлением, равным 1,25 рабочего давления.

Арматура и фасонные детали трубопроводов должны подвергаться гидравлическому испытанию пробным давлением в соответствии с ГОСТ 356-80.

Гидравлическое испытание трубопроводов и их элементов должно производиться после термообработки и контроля сварных соединений, а также после исправления всех обнаруженных дефектов.

Для гидравлического испытания должна применяться вода с температурой не ниже +5°C. Давление должно подниматься и снижаться постепенно. Время выдержки

трубопроводов и его элементов под пробным давлением должно быть не менее 5 мин. Трубопровод и его элементы считаются выдержавшими гидравлическое испытание,

если не обнаружено признаков разрыва, течи, слезок и потения в сварных швах и в основном металле, видимых остаточных деформаций.

## Раздел девятый

### ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ СТАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

#### 9.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Целью гидродинамических расчетов стационарных трубопроводов чаще всего является определение потерь давления в них по заданным конфигурации и диаметру трубопровода, расходу среды и ее параметрам или определение давления в начале или конце определенного участка трубопровода, а также пропускной способности трубопровода. Методика гидродинамического расчета трубопровода определяется состоянием транспортируемой им среды.

Для стационарных трубопроводов наиболее часто возникает необходимость проведения расчетов в следующих случаях:

1) для трубопроводов с небольшими изменениями удельных объемов среды. К ним относятся трубопроводы, транспортирующие жидкости при постоянном удельном объеме, т. е. при отсутствии явления вскипания ( $v = \text{const}$ ), а также для паропроводов и газопроводов с отношением удельных объемов, не превышающим  $\beta = v_2/v_1 \leq 1,6$ , где  $v_1$  и  $v_2$  — удельные объемы среды в начале и конце трубопровода,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;

2) для трубопроводов с большими изменениями удельных объемов пара, т. е. с большим падением давления и большими скоростями. К ним относятся паропроводы с отношением удельных объемов  $\beta = v_2/v_1 > 1,6$  и скоростью пара больше 130—150 м/с, например выхлопные паропроводы от предохранительных клапанов, продувочные паропроводы, ограничительные шайбы;

3) для трубопроводов кипящей воды, испаряющейся по мере снижения давления вдоль трубопровода, и трубопроводов насыщенного пара давлением свыше 100 кгс/см<sup>2</sup> при больших потерях давления в них. В обоих этих случаях показатель адиабаты не может рассматриваться как величина постоянная, и имеет место большое увеличение удельных объемов среды. К таким трубопроводам могут быть отнесены трубопроводы непрерывной продувки котлов, аварийного сброса из барабана котла, линия перелива из деаэратора 7 кгс/см<sup>2</sup> и т. д.

#### 9.2. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ТРУБОПРОВОДОВ С НЕБОЛЬШИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ УДЕЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ СРЕДЫ

Для стационарных трубопроводов, работающих при обычных скоростях среды с небольшими изменениями ее удельных объемов ( $\beta = v_2/v_1 \leq 1,6$ ), падение давления  $\Delta p$ , кгс/см<sup>2</sup>, в трубопроводе при заданной его конфигурации определяется по формуле

$$\Delta p = \left[ \frac{w^2}{2g} \left( \frac{\lambda}{d_p} L + \sum_1^n \xi_m \right) + (H_2 - H_1) \right] \frac{1}{v \cdot 10^4},$$

где  $w$  — скорость движения среды, определяемая как  $w = 0,354 Qv/d_p^2$ , м/с;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\lambda$  — коэффициент сопротивления трения (см. табл. 9.24);  $d_p$  — расчетный внутренний диаметр трубы, м (см. табл. 9.24);  $L$  — развернутая длина трассы трубопровода, включающая длину прямых участков и развернутую длину отводов, колен и других элементов, м;  $\sum_1^n \xi_m$  — сумма коэффициентов

местных сопротивлений рассчитываемого трубопровода (см. § 9.5);  $H_1$  и  $H_2$  — отметки начала и конца трубопровода, м;  $v$  — удельный объем среды, м<sup>3</sup>/кг;  $Q$  — расход среды, т/ч.

В расчетах паропроводов и трубопроводов сжатого воздуха членом  $(H_2 - H_1) \times \frac{1}{v \cdot 10^4}$  можно пренебречь ввиду его малости.

В практике чаще приходится определять давление в конце или начале трассы трубопровода, при этом для заданных начальных параметров среды и ее расходе давление в конце трассы трубопровода по-

стоянного диаметра может быть определено по следующим формулам:

1) для несжимаемых жидкостей

$$p_2 = p_1 - p_{д1} \xi - \frac{1}{v \cdot 10^4} (H_2 - H_1);$$

2) для паропроводов и газопроводов

$$p_2 = p_1 \sqrt{1 - 2 \frac{p_{д1}}{p_1} \xi \left(1 + 2,5 \frac{p_{д1}}{p_1}\right)};$$

$$p_1 = p_2 \sqrt{1 + 2 \frac{p_{д2}}{p_2} \xi \left(1 + \frac{p_{д2}}{p_2}\right)};$$

$$\beta = \frac{v_2}{v_1} = \alpha - n\alpha(\alpha^2 - 1) \frac{p_{д1}}{p_1} =$$

$$= \alpha - n \left(\alpha - \frac{1}{\alpha}\right) \frac{p_{д2}}{p_2},$$

где  $p_1$  и  $p_2$  — давления соответственно в начале и конце трубопровода, кгс/см<sup>2</sup>;  $p_{д1}$  и  $p_{д2}$  — гидродинамические давления в начале и конце трубопровода, кгс/см<sup>2</sup>;  $\xi$  — суммарный коэффициент сопротивления;  $\alpha = p_1/p_2$ ,  $\beta = v_2/v_1$  — отношения давлений и удельных объемов;  $n = (k-1)/k$  — коэффициент, зависящий от показателя адиабаты  $k$  и равный для перегретого пара 0,23, насыщенного пара 0,12, многоатомных газов 0,25, воздуха 0,285;  $v$  — удельный объем, м<sup>3</sup>/кг;  $H_1$  и  $H_2$  — отметки начала и конца трубопровода, м.

Формулы для паропроводов и газопроводов дают достаточно точные результаты (погрешность менее 0,5%) вплоть до отношения  $\alpha = 2$  при отношениях  $p_{д1}/p_1$  или  $p_{д2}/p_2$  меньше 0,03. При обычных скоростях и потерях давления  $p_{д1}/p_1 < 0,01$  и  $\alpha < 1,2$  можно принимать  $\beta = \alpha$ .

Гидродинамическое давление  $p_{д1}$ , кгс/см<sup>2</sup>, в начале трассы трубопровода определяется по формуле

$$p_{д1} = \frac{w_1^2}{2g v_1 \cdot 10^4} = \frac{m^2 v_1}{2g \cdot 10^4},$$

где  $w_1$  и  $v_1$  — соответственно скорость, м/с, и объем, м<sup>3</sup>/кг, среды в начале трубопровода;  $m$  — массовая скорость в паропроводе, кг/(с·м<sup>2</sup>):

$$m = 0,354 \frac{Q}{d^2 p} = \frac{Q}{F} = \frac{w}{v};$$

здесь  $Q$  — расход среды, т/ч;  $F$  — площадь прохода, м<sup>2</sup>; остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

Гидродинамическое давление  $p_{д2}$ , кгс/см<sup>2</sup>, в конце трубопровода определяется по формуле

$$p_{д2} = \beta p_{д1}.$$

При  $(p_{д1}/p_1) \xi < 0,03 \pm 0,04$ , можно принимать

$$p_2 = p_1 - p_{д1} \xi,$$

где  $p_2$  — давление в конце трубопровода, кгс/см<sup>2</sup>, при этом погрешность не превышает 0,2%.

Потеря давления в трубопроводе определяется как разность давлений в начале и конце трубопровода, т. е.  $\Delta p = p_1 - p_2$ .

Приведенные выше формулы для определения давлений в начале и конце паропровода справедливы при неизменной массовой скорости  $m$  трубопровода, т. е. постоянном расходе  $Q$  и постоянной площади прохода труб и других деталей трубопровода.

Так как в практике часто встречаются трубопроводы, состоящие из участков с различными массовыми скоростями, т. е. состоящие из участков различных диаметров и с различными расходами среды, расчет таких трасс надо производить последовательно по участкам. Давление в начале каждого последующего участка должно при этом приниматься с учетом изменений динамических давлений в местах переходов и тройников, т. е.

$$p_{б1} = p_{а2} + p_{д,а2} - p_{д,б1} - \xi p_{д},$$

где  $p_{б1}$  и  $p_{д,б1}$  — пьезометрическое и гидродинамическое давления в начале участка б (за переходом, тройником);  $p_{а2}$  и  $p_{д,а2}$  — то же в конце предыдущего участка (до перехода);  $\xi p_{д}$  — падение давления в тройнике или переходе. Эта формула применима и для пара при динамических давлениях до 1—2%  $p_{а2}$ .

В некоторых случаях необходимо определить потоки среды в параллельных трубопроводах. Распределение потоков для этого случая определяется формулой

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{\xi_2}{\xi_1}},$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  — расходы среды;  $\xi_1$  и  $\xi_2$  — коэффициенты сопротивления первой и второй ветвей трубопровода, приведенные к одному расчетному проходу [см. формулу (9.12)].

Задача распределения потоков решается методом последовательных приближений в связи с необходимостью корректировки коэффициентов сопротивления тройников, значения которых зависят от распределения потоков.

### 9.3. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ТРУБОПРОВОДОВ С БОЛЬШИМИ ПАДЕНИЯМИ ДАВЛЕНИЯ И БОЛЬШИМИ СКОРОСТЯМИ СРЕДЫ

Когда отношение удельных объемов в конце и начале трубопровода  $\beta = v_2/v_1 > 1,6$  и скорости пара больше 130—150 м/с, методы расчета, приведенные в § 9.2, неприемлемы. Для этих случаев формула определения падения давления в трубопроводе  $\Delta p$ , кгс/см<sup>2</sup>, имеет следующий вид:

$$\Delta p = (\xi + \sigma) \frac{2\beta v_1}{1 + \beta} \frac{m^2}{2g \cdot 10^4},$$

где  $\sigma$  — коэффициент сопротивления, учитывающий расширение потока в процессе те-

чения, потерю гидродинамического давления с выходной скоростью и начальное гидродинамическое давление; остальные обозначения те же, что и в § 9.2.

Коэффициент сопротивления

$$\alpha = \frac{k+1}{k} \ln \beta + \frac{k-1}{2k} \left( \beta - \frac{1}{\beta} \right),$$

где  $k$  — показатель адиабаты. Для перегретого пара  $k=1,3$ , для двухатомных газов  $k=1,4$ , для многоатомных газов  $k=1,33$ , для сухого насыщенного пара давлением до  $25 \text{ кгс/см}^2$  и температурой  $225^\circ\text{C}$  принимают обычно усредненное значение  $k=1,135$ , для давлений до  $100 \text{ кгс/см}^2$  и температуры  $310^\circ\text{C}$  также может приниматься усредненный показатель  $k=1,08$ , для насыщенного и влажного пара показатель адиабаты изменяется в широких пределах.

Для сухого насыщенного пара с начальным давлением  $p < 40 \text{ кгс/см}^2$  процесс расширения протекает в области перегретого пара, однако уже при небольшой начальной влажности  $1-2\%$  процесс идет ниже кривой насыщения и следует пользоваться формулами для насыщенного пара.

Случай расчета паропроводов насыщенного пара при больших падениях давления в практике встречаются крайне редко и в справочнике не приводятся.

Следует отметить, что выбор формул для перегретого или насыщенного пара определяется не начальным его состоянием, а областью параметров, в которой происходит процесс течения. Так, для сухого насыщенного пара с начальным давлением менее  $30 \text{ кгс/см}^2$  линия процесса течения лежит в  $i, s$ -диаграмме выше кривой насыщения, и такие трубопроводы должны рассчитываться по формулам перегретого пара.

В практических расчетах стационарных трубопроводов удобнее пользоваться формулами, позволяющими непосредственно определять давление в начале или конце трубопровода. В этих расчетах необходимо определять критические параметры течения  $p_k, w_k, m_k, \beta_k, \alpha_k, v_k$ . Критическое давление  $p_k, \text{ кгс/см}^2$ , определяется по формуле

$$p_k = m_k \frac{A}{kg \cdot 10^4} \sqrt{p_0 v_0},$$

где  $A$  — коэффициент, принимаемый для перегретого пара  $A=333$ , для насыщенного сухого пара  $A=320 \div 323$  (при  $k=1,08$  и  $k=1,135$ );  $m_k$  — массовая скорость при критическом течении,  $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ ;  $p_0$  и  $v_0$  — параметры среды при скорости, близкой к нулю;  $k$  — показатель адиабаты.

При истечении из отверстия пара давление его  $p_k$  определяется только начальным давлением; для перегретого пара (при  $k=1,135$ )  $p_k=0,546 p_1$ , для сухого насыщенного пара (при  $k=1,08$ )  $p_k=(0,58 \div 0,59) p_1$ .

Критическая скорость  $w_k$  (звуковая),  $\text{м}/\text{с}$ , течения пара или газа вычисляется по

формуле

$$w_k = \sqrt{2g \frac{k}{k+1} p_0 v_0 \cdot 10^4} = A \sqrt{p_0 v_0},$$

или

$$w_k = \sqrt{g k v_k p_k \cdot 10^4}.$$

Массовая скорость  $m_k, \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ , при критическом течении в зависимости от давления  $p_1$  в начале трубы определяется по формуле

$$m_k = \frac{p_1 \cdot 10^4}{\left( \frac{k+1}{2gk} \beta_k - \frac{k-1}{2gk} \frac{1}{\beta_k} \right) A \sqrt{p_0 v_0}}.$$

При критическом истечении перегретого пара через отверстие массовая скорость равна:

$$m_k = \frac{Q}{F} = 2,09 \mu \sqrt{\frac{p_0}{v_0}},$$

где  $Q$  — расход,  $\text{кг}/\text{с}$ ;  $F$  — площадь прохода,  $\text{м}^2$ ;  $g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $\mu$  — коэффициент расхода.

Максимально возможными величинами  $\beta$  и  $\alpha$  являются  $\beta_k$  и  $\alpha_k$ , отвечающие при заданном сопротивлении  $\xi$  критическому течению. Если  $\beta$  или  $\alpha$ , вычисленные для принятых в расчете условий, окажутся соответственно больше  $\beta_k$  или  $\alpha_k$ , это указывает, что в конце трубы устанавливается давление  $p_2=p_k$  выше заданного в расчете давления  $p_2=p'$ . Критические отношения  $\alpha_k$  и  $\beta_k$  в зависимости от суммарного коэффициента сопротивления  $\xi$  приведены на рис. 9.1.

Критическое давление  $p_k$  зависит от параметров  $p_0, v_0$  и  $m$ . Если вычисленное для заданных условий критическое давление  $p_k$  окажется ниже давления  $p'$  в пространстве, куда выходит конец трубы, то течение является докритическим, если же  $p_k > p'$ , то течение происходит с критической скоростью.

При расчетах следует учитывать, что

$$\beta_k^2 = \frac{F \cdot 2k}{k+1} \xi + 1 + 2 \ln \beta_k.$$

В практике наиболее часто встречаются три случая гидродинамического расчета стационарных трубопроводов, которые и рассматриваются ниже. Для всех этих случаев принято: расчет ведется для перегретого пара с показателем адиабаты  $k=1,3$ ;  $p_1$  и  $v_1$  — давление и объем среды в начале трубопровода (участка);  $p_2$  и  $v_2$  — то же в конце его;  $p_0$  и  $v_0$  — параметры при скорости, близкой к нулю;  $m$  — массовая скорость;  $p'$  — давление в пространстве, с которым соединен конец трубы.

Случай 1. Определение начальных параметров пара  $p_1$  и  $v_1$  по заданным  $m, \xi, p_0$  и  $v_0$  и  $p'$ . Определяется характер течения среды, для чего вычисляется критическое давление. Расчеты ведутся для перегретого пара, для которого  $k=1,3$  и  $A=333$ ,



поэтому критическое давление  $p_k$ , кгс/см<sup>2</sup>, равно:

$$p_k = \xi j, 1 \cdot 10^{-4} m \sqrt{p_0 v_0},$$

при этом:

1) если  $p_k < p'$ , то в конце трубы установится давление  $p_2 = p'$ . Течение докритическое. Параметры в начале трубы определяются как

$$v_1 = v_2 / \beta; \quad p_1 = \beta p_2 + 0,23(\beta - 1/\beta) p_{д2}.$$

Удельный объем в конце участка  $v_2$ , м<sup>3</sup>/кг, находится по формуле

$$v_2 = \frac{\omega_k}{m} \left( \frac{p_k}{p_2} + f \right),$$

где  $\omega_k = A \sqrt{p_0 v_0}$ , м/с;  $f$  — коэффициент, зависящий от отношения давлений  $p_2/p_k$  и принимаемый по графику на рис. 9.2. Гидродинамический напор в конце участка паропровода  $p_{д2}$ , кг/см<sup>2</sup>, равен:

$$p_{д2} = \frac{m^2 v_2}{2g \cdot 10^4}.$$

Отношение объемов  $\beta$  находится из уравнения

$$\left( \frac{p_2}{2p_{д2}} + 0,115 \right) (\beta^2 - 1) = \xi + 4,07 \lg \beta.$$

Решение уравнения выполняется методом последовательных приближений;

2) если  $p_k \geq p'$ , то давление в конце трубы принимается  $p_2 = p_k$ . Течение критическое. Параметры в начале трубы определяются как

$$v_1 = \frac{v_2}{\beta_k}; \quad p_1 = \alpha_k p_k.$$

Удельный объем в конце участка  $v_2$  определяется аналогично предыдущему; отношения  $\beta_k$  и  $\alpha_k$  определяются по графику на рис. 9.1 в зависимости от сопротивления трассы. Эти же отношения могут быть определены и по формулам

$$\beta^2_k = 1,13\xi + 1 + 4,6 \lg \beta_k; \quad (9.1)$$

$$\alpha_k = 1,15\beta_k - \frac{0,15}{\beta_k}. \quad (9.2)$$

Случай 2. Определение конечных параметров пара  $p_2$  и  $v_2$  по заданным  $p_1$ ,  $v_1$ ,  $m$ ,  $\xi$ . Определяется характер течения среды, для чего вычисляется отношение удельных объемов  $\beta$  из уравнения

$$\left( \frac{p_1}{2p_{д1}} + 0,115 \right) \left( 1 - \frac{1}{\beta^2} \right) = \xi + 4,07 \lg \beta$$

и сопоставляется с критическим отношением  $\beta_k$ , приведенным на графике рис. 9.1 или вычисленным по формуле (9.1), при этом:

1) если  $\beta < \beta_k$ , то течение докритическое. Параметры в конце трубы определя-

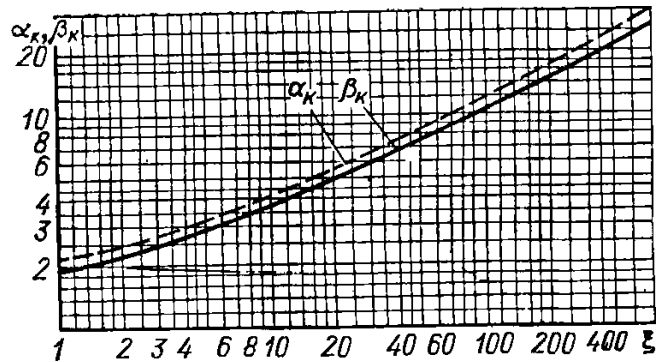


Рис. 9.1. Критические отношения давлений  $\alpha_k = p_1/p_2$  и объемов  $\beta_k = v_2/v_1$  в зависимости от суммарного коэффициента сопротивления трассы  $\xi$

ются как

$$v_2 = v_1 \beta; \quad p_2 = \frac{p_1}{\beta} - 0,23 \left( \beta - \frac{1}{\beta} \right) p_{д1},$$

где  $p_{д1} = \frac{m v_1}{2g \cdot 10^4}$ ;

2) если  $\beta = \beta_k$ , то течение критическое. В этом случае  $p_2 = p_k$ . Критическое давление определяется по формуле

$$p_k = 26,1 \cdot 10^{-4} m \sqrt{p_0 v_0}; \quad p_{д2} = 0,65 p_k.$$

Удельный объем в конце трубы равен  $v_2 = v_1 \beta_k$ ;

3) если  $\beta > \beta_k$ , то задание невыполнимо, так как при заданных  $p_1$ ,  $v_1$  и  $\xi$  заданная массовая скорость  $m$  недостижима. В этом случае трубопровод надо пересчитать на критический расход и соответствующее сопротивление.

Случай 3. Определение массовой скорости  $m$  по заданным  $p_1$ ,  $v_1$ ,  $\xi$  и давлению  $p'$ . Определяется характер течения среды, для чего заданное отношение  $\alpha' = p_1/p'$  сопоставляется с критическим  $\alpha_k$ , которое определяется по графику на рис. 9.1 либо с помощью формул (9.1) и (9.2), при этом:

1) если  $\alpha' < \alpha_k$ , то в конце трубы устанавливается давление выше критического  $p_2 = p'$  и  $\alpha' = p_1/p'$ .

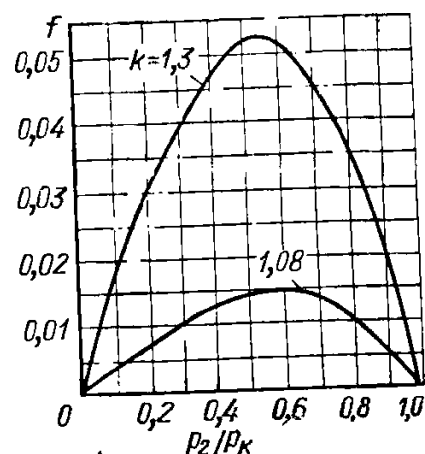


Рис. 9.2. График определения коэффициента  $f$



Массовая скорость определяется по формуле

$$m = \sqrt{\frac{(\rho_1 - \rho_2)(1 + \beta)g \cdot 10^4}{(\xi + \sigma)\beta v_1}},$$

при этом  $\beta$  определяется по приближенной формуле:

$$\beta = \alpha' \left[ 1 - 0,1 \left( \frac{\alpha'}{\beta_k} \right)^2 \right],$$

где  $\beta_k$  принимается по графику на рис. 9.1, а коэффициент  $\sigma$  определяется по формуле

$$\sigma = 0,115 \left( \beta - \frac{1}{\beta} \right) + 4,07 \lg \beta.$$

После определения массовой скорости  $m$  проверяется удельный объем по формуле

$$v_2 = \frac{\omega_k}{m} \left( \frac{\rho_k}{\rho_2} + f \right),$$

где  $\omega_k = A \sqrt{\rho_0 v_0}$ , а  $f$  берется по графику на рис. 9.2. Затем уточняются значения  $\beta$  и  $m$ ;

2) если  $\alpha' > \alpha_k$ , то  $\rho_2 = \rho_k > \rho'$ . Течение критическое. Массовая скорость в этом случае

$$m = \frac{\rho_1 \cdot 10^4}{\left( 30\beta_k - \frac{3,9}{\beta_k} \right) \sqrt{\rho_0 v_0}},$$

где  $\beta_k$  находится по графику на рис. 9.1 или по формуле (9.1).

Расчет падения давления в трубопроводах с различной массовой скоростью на отдельных участках выполняется последовательно по участкам, в пределах которых массовая скорость неизменна. В начале последующего участка (за переходом или тройником) параметры пара должны определяться с учетом следующих положений.

Обозначим индексом  $a$  параметры до перехода (тройника) и индексом  $b$  параметры после перехода и введем следующие безразмерные коэффициенты:  $c = \rho_{д.а} / \rho_a$  — отношение гидродинамического давления к пьезометрическому до перехода;  $a = m_b / m_a$  — отношение массовых скоростей;  $\beta = v_b / v_a$  — отношение удельных объемов. Потеря давления в местном сопротивлении перехода  $\xi_{пр}$  может быть учтена в соседних участках. Таким образом, для несжимаемых жидкостей можно написать равенство

$$\rho_b + \rho_{д.б} = \rho_a + \rho_{д.а}, \quad (9.3)$$

где  $\rho_{д.б} = a^2 \rho_{д.а}$ .

Для сжимаемых жидкостей при малых значениях коэффициента  $c$  ( $c < 0,05$  при  $\alpha < 1$  и  $c < 0,03$  при  $\alpha > 1$ ) можно принять  $\rho v = \text{const}$ , что приводит к следующему уравнению для определения гидродинамического давления за переходом:

$$\rho_{д.б} = \frac{a^2 \rho_{д.а} \rho_a}{(\rho_a + \rho_{д.а}) - \rho_{д.б}}, \quad (9.4)$$

которое легко решается методом подбора. После этого находят  $\rho_b$  из уравнения (9.3)

$$\text{и } v_b = 2g \frac{\rho_{д.б}}{m^2_b} 10^4.$$

При  $c > 0,03 \div 0,05$  удельные объемы  $v_b$  и другие параметры за переходом следует определять с учетом изменения скорости. Поскольку для адиабатического процесса  $\rho_b = \beta^{-k} \rho_a$ , из уравнения

$$a^2 c \beta^2 + \frac{k}{k-1} (\beta^{1-k} - 1) = c \quad (9.5)$$

можно найти отношение  $\beta$ . После определения  $\beta$  находятся все параметры после перехода:  $v_b = \beta v_a$ ;  $\rho_b = \beta^{-k} \rho_a$ ;  $\rho_{д.б} = a^2 \beta \rho_{д.а}$ .

Для перегретого пара ( $k=1,3$ ) на основании уравнений (9.3), (9.4) и (9.5) получаем:

$$a^2 c \beta^2 + 4,333 (\beta^{-0,3} - 1) = c; \quad (9.6)$$

$$\rho_b = \beta^{-1,3} \rho_a, \quad (9.7)$$

где  $a^2 = (m_b / m_a)^2$ ;  $c = \rho_{д.а} / \rho_a$ ;  $m_a$  и  $m_b$  — массовые скорости в сечениях  $a$  и  $b$ ;  $\rho_a$  и  $\rho_{д.а}$  — заданные пьезометрическое и гидродинамическое давления в сечении  $a$ ;  $\rho_{д.б} = a^2 \beta \rho_{д.а} = a^2 \beta c \rho_a$  — гидродинамическое давление в сечении  $b$ ;  $\rho_b$  — пьезометрическое давление в сечении  $b$ ;  $\beta = v_b / v_a$  — отношение удельных объемов в сечениях  $b$  и  $a$ .

Уравнения (9.6) и (9.7) не учитывают потерь давления, вызываемых гидродинамическим сопротивлением перехода (тройника), и применимы как для определения параметров за переходом (тройником) по данным параметрам до него, так и для решения обратной задачи.

Падение давления, обусловленное местным сопротивлением, следует определять по среднему удельному объему. Для этого половину коэффициента сопротивления перехода (тройника) следует включить в сумму коэффициентов сопротивления предыдущего участка, а другую половину коэффициента сопротивления отнести к сумме коэффициентов сопротивления участка, следующего за переходом (тройником), при этом должны быть учтены коэффициенты приведения сопротивлений, определяемые по формуле

$$\xi_{пр} = \frac{m^2}{m_p^2} \xi = \left( \frac{Q}{Q_p} \right)^2 \left( \frac{F_p}{F} \right)^2 \xi = a^2 \xi,$$

где  $a = m / m_p$  — коэффициент приведения гидродинамического сопротивления к расчетным условиям;  $F_p$  — площадь прохода, принятая за расчетную;  $Q_p$  — расчетный расход.

#### 9.4. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ТРУБОПРОВОДОВ НАСЫЩЕННОГО ПАРА И КИПЯЩЕЙ ВОДЫ

В настоящем параграфе рассмотрены гидродинамические расчеты трубопроводов со средой, показатель адиабаты которой не

может рассматриваться как величина постоянная. Так, например, при течении в трубопроводах насыщенного пара и кипящей воды их влажность (степень сухости) изменяется вдоль трубопровода, поэтому изменяется и показатель адиабаты. В трубопроводах насыщенного пара давлением свыше 100 кгс/см<sup>2</sup> при больших потерях давления в них, а также в трубопроводах кипящей воды, по которым течет пароводяная смесь с быстро нарастающими по мере падения давления удельными объемами (дренажные трубопроводы, трубопроводы непрерывной продувки котлов, аварийного слива из барабана котла), также происходит большое увеличение удельных объемов среды.

Единственной встречающейся на практике задачей гидродинамического расчета указанных выше трубопроводов на тепловых электростанциях является определение их пропускной способности по заданным давлению  $p_1$ , энтальпии  $i_1$  в начале трубопровода и коэффициенту сопротивления его трассы  $\xi$ . Как правило, давление в конце трубопровода  $p_2$  превышает давление среды в оборудовании, с которым соединен трубопровод  $p'$ , т. е. создаются условия критического истечения.

Пропускная способность трубопровода  $Q$ , т/ч, при этом определяется по формуле

$$Q = 3,6 F_{\text{тр}} \cdot 10^4 m_{\text{к}}, \quad (9.8)$$

где  $F_{\text{тр}}$  — расчетная площадь прохода трубы, см<sup>2</sup>;  $m_{\text{к}}$  — массовая скорость в зависимости от давления  $p_2 = p_{\text{к}}$  в конце трубопровода при критическом течении, кг/(с·м<sup>2</sup>).

Принцип расчета заключается в нахождении значения  $m_{\text{к}}$ , одновременно отвечающего условию перепада давления в данном трубопроводе и условию критического истечения. После нахождения такой массовой скорости  $m_{\text{к}}$  по формуле (9.8) определяют пропускную способность данного трубопровода. Массовая скорость  $m$ , кг/(с·м<sup>2</sup>), в зависимости от коэффициента сопротивления трассы  $\xi$  и давления  $p_2$  в ее конце в этом случае определяется по формуле

$$m = \sqrt{\frac{2g}{\xi + 4,6 \lg \beta} \left( -10^4 \int_1^2 \rho dp - \int_1^2 \rho^2 dH \right)} \quad (9.9)$$

где  $\rho = 1/v$  — плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $dH$  — изменение геодезической отметки оси трубопровода, м.

Массовая скорость  $m_{\text{к}}$  в зависимости от давления  $p_2 = p_{\text{к}}$  в конце трубопровода при критическом течении определяется по формуле

$$m_{\text{к}} = q p_{\text{к}}, \quad (9.10)$$

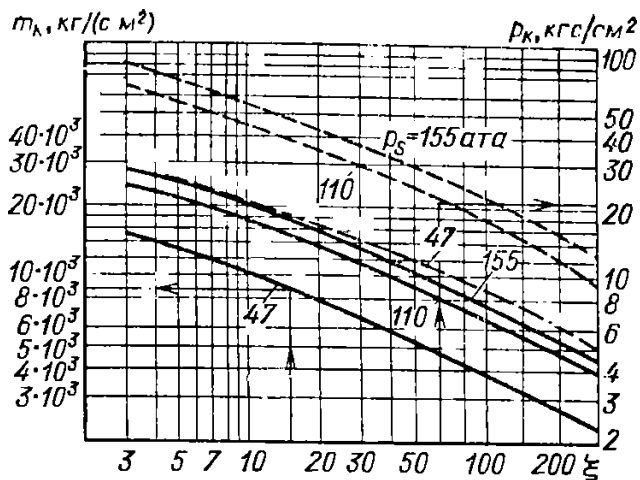


Рис. 9.3. Критическая массовая скорость и давление кипящей воды в конце трубопровода при начальных давлениях 47, 110 и 155 кгс/см<sup>2</sup> в зависимости от  $\xi$ ;  $m_{\text{к}}$  — сплошные линии;  $p_{\text{к}}$  — штриховые линии

где  $q$  — коэффициент, зависящий от отношения критического давления  $p_{\text{к}}$  к давлению насыщения ( $\omega = p_{\text{к}}/p_s$ ).

Значения найденных по формулам (9.9) и (9.10)  $m$  и  $m_{\text{к}}$  должны быть равными или иметь очень маленькое расхождение. Если это условие не выполняется и найденное значение  $m_{\text{к}} < m$ , критическое течение наступит при большем  $p_2$ , чем принято в расчете, и следует путем последовательного приближения найти  $p_2 = p_{\text{к}}$ .

При определении пропускной способности трубопроводов необходимо контролировать скорости среды. Для стационарных трубопроводов, работающих постоянно (отвод конденсата ПВД в деаэратор и т. д.), массовая скорость потока не должна превышать 2500 кг/(с·м<sup>2</sup>). Скорость среды в сбросных и дренажных трубопроводах кратковременного действия может быть больше указанного значения, но не может превосходить критическую скорость, равную:

$$m_{\text{к}} \approx 100 \sqrt{g \left( -\frac{\Delta p}{\Delta v} \right)_{s=\text{const}}}$$

Пропускная способность дренажных, сбросных и продувочных линий для стандартных давлений в барабанах котлов 47, 110 и 155 кгс/см<sup>2</sup> в зависимости от общего коэффициента сопротивления трассы  $\xi$ , приведенного к выходному сечению, и начального давления может быть определена с помощью графика на рис. 9.3. В этом графике не учтен гравитационный напор, т. е. дано минимальное значение пропускной способности трубопровода. Если эти данные положить в основу выбора расширителей и диаметра трубопровода выпара из них, то пропускную способность, определяемую с помощью графика на рис. 9.3, следует увеличить: для  $p_1 = 47$  кгс/см<sup>2</sup> на 8—10%, для  $p_1 = 110$  кгс/см<sup>2</sup> на 3—4% и для  $p_1 = 155$  кгс/см<sup>2</sup> на 2—3%.

Подробные указания по определению  $m$  и  $m_k$ , а также вспомогательные графики для определения интегралов в формуле (9.9) и значения  $q$  см. в [16, с. 68—81].

Примеры гидродинамических расчетов трубопроводов для случаев, рассмотренных в § 9.2—9.4, см. в [16].

## 9.5. КОЭФФИЦИЕНТЫ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТРУБ И ДЕТАЛЕЙ ТРУБОПРОВОДОВ

### 9.5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Потери давления в трубопроводах пропорциональны произведению гидродинамического напора, равного  $p_d = m^2 v / (2g \cdot 10^4) = w^2 / (2gv \cdot 10^4)$ , на безразмерный коэффициент  $\xi$ , т. е.  $\Delta p = p_d \xi$  (условные обозначения см. в § 9.2).

Различают потери давления при движении среды по трубам, вызванные трением, и потери давления в местных сопротивлениях (колена, тройники, переходы и т. п.), возникающие в результате изменения скорости потока по значению и направлению. Суммарный коэффициент сопротивления

$$\xi = \xi_{тр} + \sum_1^n \xi_{м}, \text{ где } \sum_1^n \xi_{м} -$$

сумма местных сопротивлений данного трубопровода;  $\xi_{тр}$  — коэффициент сопротивления, обусловленный трением и определяемый по формуле

$$\xi_{тр} = \frac{\lambda}{d_p} L,$$

где  $\lambda$  — коэффициент трения, зависящий от относительной эквивалентной шероховатости. В практических расчетах он принимается в зависимости от отношения  $d_p/k_s$  (см. табл. 9.24) и числа Рейнольдса  $Re = wd_p/v = md_p/g\mu$ ;  $d_p$  — расчетный внутренний диаметр трубы, м (см. табл. 9.24);  $L$  — развернутая длина трубопровода, включая развернутую длину гнутых элементов, сварных отводов, тройников, м;  $k_s$  — абсолют-

Таблица 9.1. Значения абсолютной эквивалентной шероховатости для труб стационарных трубопроводов

Типы труб	Абсолютная эквивалентная шероховатость $k_s$ , мм
Трубы бесшовные и сварные из нержавеющей стали, работающие в нормальных условиях (сварка без подкладных колец)	0,1
Бесшовные стальные трубы, работающие в нормальных условиях	0,2
Сварные стальные трубы, работающие в нормальных условиях	0,3
Стальные трубы, работающие в условиях повышенной коррозии (механические, сливные и т. п.)	0,55—0,65

Примечание. В значение абсолютной эквивалентной шероховатости включены сопротивления сварных швов.

ная эквивалентная шероховатость трубы, включая сопротивление сварных швов, мм (см. табл. 9.1);  $\nu$  — кинематическая вязкость среды, равная  $\nu = g\mu$ , м<sup>2</sup>/с (см. табл. 9.2 или таблицы термодинамических свойств воды и пара);  $\mu$  — динамическая вязкость, кг·с/м<sup>2</sup> (см. табл. 9.2);  $\nu$  — удельный объем, м<sup>3</sup>/кг;  $w$  — скорость движения среды, м/с;  $m$  — массовая скорость, кг/(с·м<sup>2</sup>).

В табл. 9.24 приведены удельные коэффициенты сопротивления трения  $\lambda/d_p$  на 1 м трубы согласно сортаменту труб стационарных трубопроводов.

Коэффициент трения  $\lambda$  зависит от характера течения среды в трубопроводе, определяемого значением числа Рейнольдса.

При малых числах Рейнольдса течение ламинарное, коэффициент трения  $\lambda$  изменяется обратно пропорционально скорости и, следовательно, потери давления растут пропорционально первой степени скорости. При больших числах Рейнольдса течение турбулентное, коэффициент  $\lambda$  уже не зависит от скорости и потери давления растут пропорционально квадрату скорости течения. Между этими областями лежит переходная зона, в которой коэффициент  $\lambda$  определяется сложной зависимостью от числа Рейнольдса и отношения  $d_p/k_s$ .

Область ламинарного течения от переходной зоны разграничивается предельным числом Рейнольдса  $Re_1 = 2300$ . При числах  $Re_1 < 2300$  (ламинарное течение) коэффициент  $\lambda$  для круглых труб определяется как  $\lambda = 64/Re$ . В стационарных трубопроводах значение числа  $Re < 2300$  встречается в трубопроводах с вязкими жидкостями (масло, мазут).

Верхней границей переходной области является число Рейнольдса, равное  $Re_2 = (120d_p/k_s)^{1,125}$  (зона турбулентного течения). При числах  $Re > Re_2$  коэффициент  $\lambda$  не зависит от числа  $Re$  и определяется по формуле

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,14 + 2 \lg \frac{d_p}{k_s}\right)^2} \quad (9.11)$$

или по графику рис. 9.4. В переходной области при  $Re_1 < Re < Re_2$  коэффициент  $\lambda$  следует принимать по графику рис. 9.4.

Скорости течения пара и воды в стационарных трубопроводах принимаются, как правило, такими, что при расчетных расходах течение в них турбулентно, а поэтому применима формула (9.11). Исключением могут являться трубопроводы, транспортирующие пар давлением ниже 2 кгс/см<sup>2</sup> или воду невысокой температуры. Наименьшие скорости течения, при которых применима в этих случаях формула (9.11), могут быть установлены по графикам рис. 9.5 и 9.6. При скоростях ниже указанных на этих графиках вычисление числа  $Re$  и определение  $\lambda$  производятся по графику рис. 9.4.

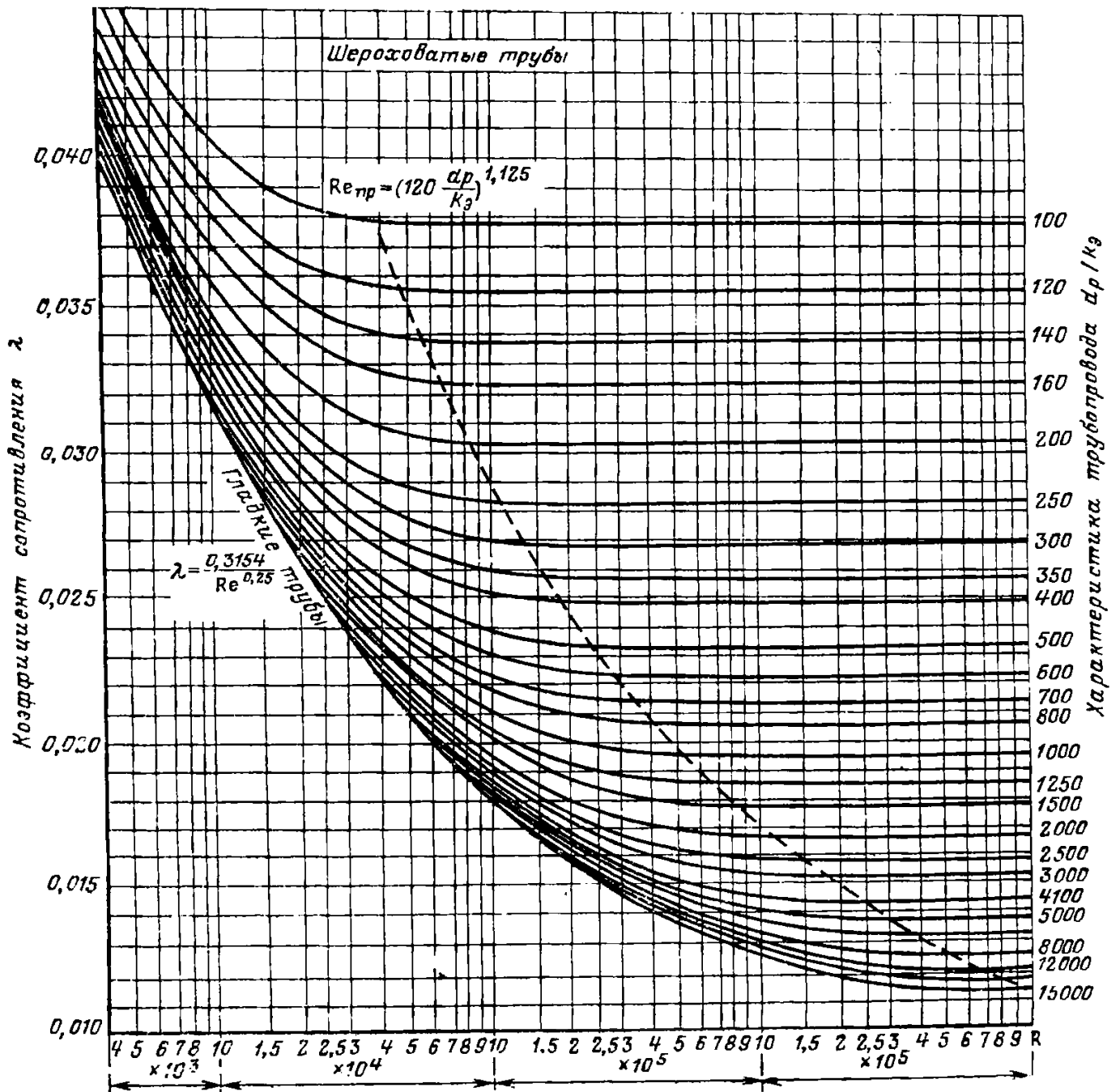


Рис 9.4. Зависимость коэффициента сопротивления  $\lambda$  стальных труб от числа Рейнольдса и от характеристики трубопровода  $d_p/k_z$  (по данным ВТИ)

Местные сопротивления  $\xi_m$  включают в себя сопротивления всех фасонных элементов трубопровода и арматуры. Значения местных коэффициентов сопротивления фасонных элементов, а также арматуры приведены в таблицах п. 9.5.2. Эти коэффициенты определены на основании расчетных формул или экспериментальных данных и могут применяться при числах  $Re > 10^5 \div 2 \cdot 10^6$ . При ламинарном режиме течения среды, т. е. при  $Re < 10^3$ , ими можно пользоваться только для очень грубой оценки сопротивлений.

При установке на трубопроводе заданного расчетного диаметра  $d_p$  каких-либо элементов или арматуры с иным диаметром прохода  $d_i$  необходимо коэффициент сопротивления, отнесенный к скорости в сечении такого элемента, пересчитать относительно скорости в сечении с расчетным проходом

$d_p$  по формуле

$$\xi_p = \left(\frac{d_p}{d_i}\right)^4 \xi_i = \left(\frac{F_p}{F_i}\right)^2 \xi_i, \quad (9.12)$$

где  $\xi_p$  — коэффициент сопротивления элемента, отнесенный к  $d_p$ ;  $\xi_i$  — коэффициент сопротивления элемента трубопровода или арматуры, принимаемый по справочным данным (см. п. 9.5.2);  $d_i$  — фактический или номинальный диаметр элемента, к которому отнесен коэффициент;  $d_p$  — расчетный диаметр трубопровода. Так, например, при установке на трубопроводе  $D_y = 150$  мм в качестве регулирующего элемента вентиля  $D_y = 100$  мм с коэффициентом сопротивления  $\xi = 6$  его коэффициент сопротивления, отнесенный к расчетному диаметру  $d_p = 0,150$  м, должен быть принят равным  $\xi_p = (150/100)^4 \cdot 6 = 30,4$ .

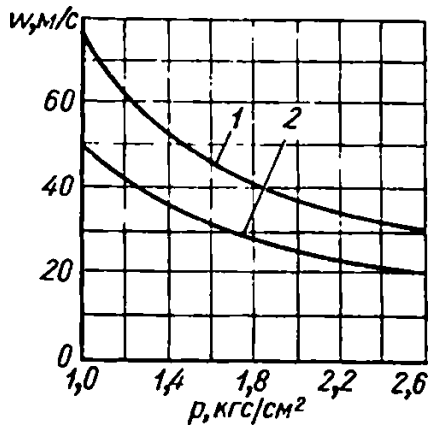


Рис. 9.5. Минимальные скорости пара давлением 1—2 кгс/см<sup>2</sup> при температуре  $t_s + 20^\circ\text{C}$ , для которых применима формула турбулентного течения:

1—в бесшовных трубах; 2—в сварных трубах

Коэффициенты сопротивления тройников зависят от схемы движения потока и от отношения расхода среды в боковом ответвлении к суммарному потоку в магистрали  $Q_b/Q_c$ , а коэффициенты сопротивления поворотов зависят, кроме того, и от соотношения площадей прохода бокового ответвления и магистрали  $F_b/F_c$ .

В тех случаях, когда по условиям расчета удобно коэффициент сопротивления тройника отнести к скорости не соединенного потока, а ответвленного (или подводимого), коэффициент сопротивления должен быть пересчитан по формуле

$$\xi_{\text{отв}} = \xi_c \left( \frac{d_{\text{отв}}}{d_c} \right)^4 \left( \frac{Q_c}{Q_{\text{отв}}} \right)^2,$$

где  $\xi_{\text{отв}}$ —коэффициент сопротивления тройника, отнесенный к скорости ответвленного потока;  $\xi_c$ —то же, отнесенный к скорости соединенного потока;  $d_c$  и  $Q_c$ —диаметр прохода и расход среды в сечении соединенного потока;  $d_{\text{отв}}$  и  $Q_{\text{отв}}$ —то же в сечении ответвленного (подводимого) потока.

Суммарный коэффициент гидравлического сопротивления всей трассы трубопровода определяется как величина, отнесенная к расчетной площади прохода. В качестве

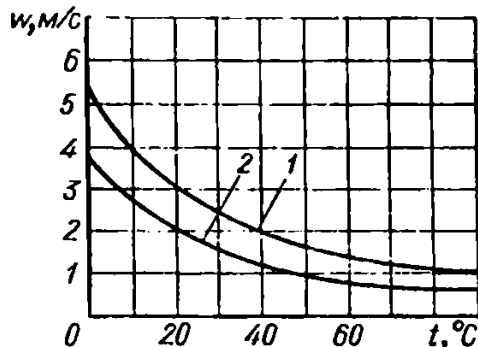


Рис. 9.6. Минимальные скорости холодной воды, при которых применима формула турбулентного течения:

1—в бесшовных трубах; 2—в сварных трубах

Таблица 9.2. Плотность, динамическая и кинематическая вязкости воды и насыщенного пара

Температура, °C	Вода			Насыщенный пар		
	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Динамическая вязкость $\mu \cdot 10^6$ , кг·с/м <sup>2</sup>	Кинематическая вязкость $\nu \cdot 10^4$ , м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Динамическая вязкость $\mu \cdot 10^6$ , кг·с/м <sup>2</sup>	Кинематическая вязкость $\nu \cdot 10^4$ , м <sup>2</sup> /с
1	999,8	182,5	1,790	—	—	—
10	999,6	133,0	1,300	—	—	—
20	998,2	102,0	1,000	—	—	—
30	995,6	87,7	0,805	—	—	—
40	992,2	66,6	0,659	—	—	—
50	988,0	56,0	0,556	—	—	—
60	983,2	48,0	0,479	—	—	—
70	977,7	41,4	0,415	—	—	—
80	971,8	36,3	0,366	—	—	—
90	965,3	32,1	0,323	—	—	—
100	958,3	28,8	0,295	0,598	1,23	20,20
110	951,0	26,0	0,268	0,827	1,28	15,20
120	943,1	23,5	0,244	1,112	1,34	11,70
130	934,8	21,6	0,226	1,416	1,39	9,11
140	926,1	20,0	0,212	1,967	1,44	7,18
150	916,9	18,9	0,202	2,548	1,50	5,76
160	907,4	17,7	0,191	3,260	1,55	4,67
170	897,3	16,6	0,181	4,122	1,61	3,83
180	886,9	15,6	0,173	5,157	1,67	3,18
190	876,0	14,8	0,166	6,392	1,72	2,64
200	864,7	14,1	0,160	7,857	1,77	2,21
210	852,8	13,4	0,154	9,585	1,82	1,86
220	840,3	12,8	0,149	11,61	1,87	1,58
230	827,3	12,2	0,145	13,98	1,92	1,35
240	813,6	11,7	0,141	16,75	1,98	1,16
250	799,2	11,2	0,137	19,98	2,03	0,937
260	784,0	10,8	0,135	23,74	2,09	0,864
270	767,9	10,4	0,133	28,11	2,15	0,750
280	750,7	10,0	0,131	33,22	2,22	0,654
290	732,3	9,6	0,129	39,18	2,28	0,574
300	712,5	9,3	0,128	46,24	2,35	0,499
310	690,6	9,0	0,128	54,64	2,42	0,435
320	667,1	8,7	0,128	64,79	2,50	0,379
330	640,2	8,3	0,127	77,80	2,59	0,329
340	609,4	7,9	0,127	92,90	2,70	0,284
350	572,0	7,4	0,127	113,60	2,84	0,245
360	524,0	6,8	0,127	143,50	3,03	0,207
370	448,0	5,8	0,127	200,00	3,36	0,163

расчетного прохода допустимо применять площадь прохода одного из участков, желательнее имеющего большее гидравлическое сопротивление.

Суммарный коэффициент гидравлического сопротивления трассы с параллельными и последовательными участками (рис. 9.7) определяется по формуле

$$\xi_{\text{общ}} = \frac{\xi_{1-3}\xi_{2-3}}{(\sqrt{\xi_{1-3}} + \sqrt{\xi_{2-3}})^2} + \xi_{3-4}.$$

### 9.5.2. КОЭФФИЦИЕНТЫ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ И АРМАТУРЫ ТРУБОПРОВОДОВ

Отводы. Значения коэффициента местного сопротивления отводов в зависимости от их типа, диаметра и угла поворота приведены в табл. 9.3. Значения даны при  $Re > 2 \cdot 10^5$  и  $k_p = 0,2$ .

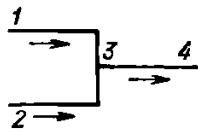


Рис. 9.7. Схема трассы с параллельными и последовательными участками

При отводе в виде утки с углами поворота  $2\alpha = 2 \times 90^\circ$  (рис. 9.8)  $Re = \frac{wD_0}{\nu} \geq 1,5 \cdot 10^5$

и при  $Re/D_0=1$  коэффициент местного сопротивления  $\xi = 2,16$ .

**Тройники сварные. Слияние потоков. Прямой проход** (вдоль патрубков тройника) (рис. 9.9). Коэффициент сопротивления прямого прохода  $\xi_{\text{п}}$  учитывает местное сопротивление между сечениями *n-n* и *c-c* и отнесен к скорости  $w_c$  в сечении *c-c*;  $\xi_b$  — коэффициент сопротивления бокового ответвления;  $Q_b$  и  $Q_c$  — соответственно расходы в сечениях *b-b* и *c-c*;  $F_b$  и  $F_c$  — соответственно площади прохода в сечениях *b-b* и *c-c*. Общий коэффициент сопротивления тройника равен:  $\xi = \xi_b + \xi_{\text{п}}$ , где  $\xi_b = A[1 + (q/a)^2 - 2(1-q)^2]$ ;  $\xi_{\text{п}} = q(1,55 - q)$ ;  $a =$

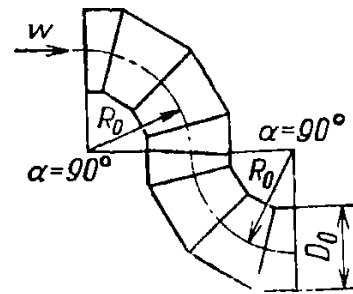


Рис. 9.8. Отвод в виде утки

$= F_b/F_c$ ;  $q = Q_b/Q_c$ . Коэффициент  $A$  выбирается в зависимости от значения  $a$ :

$a$ .....	0—0,2	0,3—0,4	0,6	0,8	1
$A$ .....	1,0	0,75	0,70	0,65	0,60

Коэффициент сопротивления прямого прохода  $\xi_{\text{п}}$  принимается в зависимости от отношения  $Q_b/Q_c$ :

$Q_b/Q_c$ .....	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\xi_{\text{п}}$ .....	0,16	0,27	0,38	0,46	0,53

Продолжение

$Q_b/Q_c$ .....	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\xi_{\text{п}}$ .....	0,57	0,59	0,60	0,59	0,55

Таблица 9.3. Значения коэффициента местного сопротивления отводов в зависимости от их типа, диаметра и угла поворота ( $Re_2 > 2 \cdot 10^5$ ,  $\xi_3 = 0,2$  мм)

Тип отводов	$D_y$ , мм	$R/D_y$	Коэффициент местного сопротивления при углах поворота $\xi$				
			$90^\circ$	$63^\circ$	$45^\circ$	$30^\circ$	$22^\circ 30'$
Отводы гнутые	—	$> 3,0$	0,20	0,15	0,12	0,09	0,07
Отводы крутоизогнутые	—	1,5	0,25	0,20	0,16	—	—
Отводы литые	—	1,0	0,60	—	—	—	—
Отводы сварные	100	1,5	0,55	0,43	0,28	0,25	0,16
	125	1,5	0,48	0,37	0,24	0,22	0,14
	150	1,5	0,41	0,32	0,21	0,19	0,12
	200	1,5	0,35	0,27	0,18	0,16	0,10
	250—450	1,5	0,30	0,24	0,16	0,14	0,09
500—1400	1,0	0,40	0,31	0,19	0,18	0,11	

Таблица 9.4. Тройники сварные. Слияние потоков. Боковое ответвление. Значения коэффициента  $\xi_b$

$Q_b/Q_c$	$F_b/F_c$													
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80	0,90	0,1
0,00	-1,00	-0,88	-0,75	-0,75	-0,75	-0,74	-0,73	-0,71	-0,70	-0,69	-0,68	-0,65	-0,63	-0,60
0,05	-0,74	-0,67	-0,58	-0,59	-0,59	-0,58	-0,58	-0,57	-0,56	-0,55	-0,54	-0,52	-0,50	-0,48
0,10	-0,37	-0,40	-0,38	-0,40	-0,41	-0,42	-0,42	-0,42	-0,41	-0,41	-0,40	-0,39	-0,38	-0,37
0,18	0,12	-0,07	-0,15	-0,20	-0,23	-0,25	-0,26	-0,26	-0,27	-0,27	-0,27	-0,27	-0,26	-0,25
0,20	0,70	0,32	0,10	0,03	0,00	-0,06	-0,10	-0,11	-0,10	-0,13	-0,01	-0,10	-0,14	-0,20
0,25	1,50	0,77	0,40	0,21	0,20	0,14	0,10	0,06	0,05	-0,02	0,00	0,00	-0,03	-0,04
0,30	2,30	1,28	0,70	0,57	0,40	0,34	0,30	0,23	0,20	0,16	0,14	0,10	0,08	0,07
0,35	3,30	1,85	1,10	0,87	0,70	0,56	0,47	0,40	0,35	0,31	0,27	0,25	0,19	0,17
0,40	4,30	2,49	1,50	1,19	1,00	0,79	0,70	0,58	0,50	0,45	0,41	0,40	0,30	0,26
0,45	5,60	3,18	1,95	1,54	1,25	1,03	0,87	0,76	0,65	0,60	0,55	0,59	0,40	0,36
0,50	6,70	3,94	2,40	1,91	1,50	1,28	1,10	0,95	0,80	0,75	0,68	0,60	0,51	0,46
0,55	8,20	4,76	2,95	2,30	1,85	1,54	1,30	1,14	1,00	0,90	0,82	0,70	0,61	0,54
0,60	9,70	5,64	3,50	2,71	2,20	1,81	1,50	1,33	1,20	1,05	0,95	0,80	0,70	0,62
0,65	11,35	6,58	4,09	3,15	2,55	2,10	1,75	1,53	1,35	1,21	1,09	0,90	0,80	0,71
0,70	13,00	7,58	4,70	3,62	2,90	2,31	2,01	1,74	1,50	1,36	1,23	1,00	0,89	0,78
0,75	15,00	8,64	5,30	4,10	3,29	2,69	2,25	1,95	1,70	1,52	1,37	1,10	0,98	0,86
0,80	17,00	9,77	5,90	4,61	3,70	3,01	2,50	2,17	1,90	1,67	1,50	1,20	1,07	0,94
0,85	19,10	10,95	6,60	5,14	4,10	3,34	2,70	2,38	2,05	1,83	1,64	1,35	1,15	1,01
0,90	21,20	12,20	7,30	5,61	4,60	3,67	3,10	2,61	2,20	1,99	1,78	1,50	1,24	1,08
0,95	23,60	13,51	8,10	6,27	4,98	4,09	3,35	2,83	2,45	2,15	1,91	1,60	1,32	1,14
1,00	25,00	14,88	8,90	6,87	5,40	4,38	3,60	3,07	2,70	2,31	2,05	1,70	1,40	1,20

Примечание. Отрицательные значения величины  $\xi_b$  объясняются подсасывающим действием участка в магистрале.

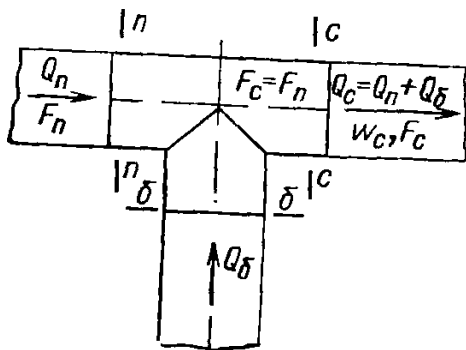


Рис. 9.9. Тройники сварные. Слияние потоков. Прямой проход

Диаметры тройников  $d_i$  могут отличаться от заданных расчетных диаметров трубопроводов, в этом случае коэффициент сопротивления элемента должен быть приведен к расчетному диаметру  $d_p$  по формуле (9.12).

**Слияние потоков. Боковое ответвление** (вход в главный патрубок тройника через боковой штуцер) (рис. 9.10). Коэффициент сопротивления  $\xi_б$  учитывает местное сопротивление между сечениями б-б и с-с и отнесен к скорости  $w_c$  в сечении с-с. Обозначения те же, что и в предыдущем случае (при прямом проходе). Значения  $\xi_б$  для этого случая приведены в табл. 9.4.

**Разделение потока. Прямой проход** (рис. 9.11). Обозначения те же, что и в предыдущих случаях. Коэффициент сопротивления  $\xi_n$  учитывает местное сопротивление между сечениями с-с и n-n и отнесен к скорости  $w_c$  в сечении с-с;  $w_n/w_c \leq 1,0$ ,  $F_c = F_n$ . Значения  $\xi_n$  принимаются в зависимости от отношения  $Q_б/Q_c$ :

$Q_б/Q_c$ . . . . .	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\xi_n$ . . . . .	0	0,004	0,02	0,04	0,06	0,10

Продолжение

$Q_б/Q_c$ . . . . .	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\xi_n$ . . . . .	0,14	0,20	0,26	0,32	0,40

Для тройников с  $F_б + F_n > F_c$   $\xi_n \approx 0,4q^2$ .

**Разделение потока. Боковое ответвление** (рис. 9.11). Коэффициент сопротивления  $\xi_б$  учитывает местное сопротивление между сечениями с-с и б-б и отнесен к скорости  $w_c$  в сечении с-с;  $\xi_б = A'[1 + (q/a)^2]$ . При  $q/a \leq 0,8$   $A' = 1$ ; при  $q/a > 0,8$

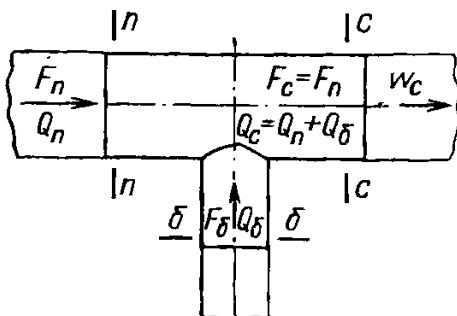


Рис. 9.10. Тройники сварные. Слияние потоков. Боковое ответвление

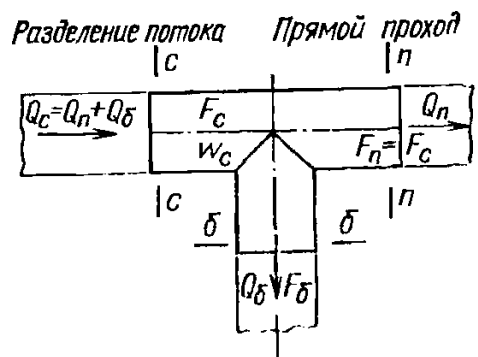


Рис. 9.11. Тройники сварные. Разделение потока. Прямой проход и боковое ответвление

$A = 0,9$ . Значения  $\xi_б$  приведены в табл. 9.5.

**Слияние встречных потоков** (рис. 9.12). Коэффициент сопротивления  $\xi_б$  учитывает местное сопротивление между сечениями б-б и с-с, отнесен к скорости  $w_c$  в сечении с-с и равен  $\xi_б = 1 + \frac{1}{a^2} + \frac{3}{a^2}(q^2 - q)$ .

Значения  $\xi_б$  для этого случая следующие:

$Q_б/Q_c$ . . . . .	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$F_б/F_c$ . . . . .	2,0	1,73	1,52	1,37	1,28	1,25

Продолжение

$Q_б/Q_c$ . . . . .	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$F_б/F_c$ . . . . .	1,28	1,37	1,52	1,73	2,0

**Разделение на расходящиеся противоположные потоки** (рис. 9.13). Коэффициент сопротивления  $\xi_б$  учитывает местное сопротивление между сечениями б-б и с-с и отнесен к скорости  $w_c$  в сечении с-с. В этом случае  $\xi_б = 1 + 0,3(q/a)^2$ . Значения коэффициентов  $\xi_б$  приведены в табл. 9.6.

**Тройник-развилка** (рис. 9.14). Коэффициент сопротивления тройника-развилки  $\xi_б$  учитывает местное сопротивление между сечениями б-б и с-с и отнесен к скорости  $w_c$  соединенного потока в сечении с-с. В этом случае возможны два варианта. Для первого из них — слияния потоков — коэффициенты сопротивления  $\xi_б$  приведены в табл. 9.7. Для случая  $\alpha = 45^\circ$   $\xi_б = 5,6q + 0,5[q^4 + (1-q)^4] - 2q^2 - 1,8$ . При втором варианте — разделении потока  $\xi_б = 1 + \left(\frac{w_б}{w_c}\right)^2 -$

$- 2 \frac{w_б}{w_c} \cos \alpha - k'_б \left(\frac{w_б}{w_c}\right)^2$ . Значения  $k'_б$  принимаются:

для  $\alpha = 15^\circ$   $k'_б = 0,04$ ; для  $\alpha = 30^\circ$   $k'_б = 0,16$ ; для  $\alpha = 45^\circ$   $k'_б = 0,36$ . Значения  $\xi_б$  приведены в табл. 9.8.

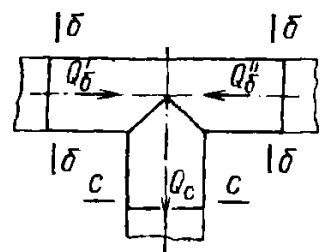


Рис. 9.12. Тройники сварные. Слияние встречных потоков

Таблица 9.5. Тройники сварные. Разделение потока. Боковое ответвление. Значения коэффициента  $\xi_b$

$Q_b/Q_c$	$F_b/F_c$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,05	1,25	1,06	1,03	1,02	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,10	1,80	1,25	1,11	1,06	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01	1,01
0,15	2,93	1,56	1,25	1,14	1,09	1,06	1,05	1,04	1,03	1,03
0,20	4,50	1,80	1,40	1,30	1,20	1,10	1,08	1,05	1,05	1,04
0,25	6,53	2,30	1,60	1,45	1,30	1,15	1,13	1,10	1,08	1,06
0,30	9,00	2,90	1,80	1,60	1,40	1,20	1,19	1,14	1,11	1,09
0,35	11,90	3,70	2,20	1,70	1,50	1,30	1,25	1,20	1,15	1,12
0,40	15,30	4,50	2,50	1,80	1,60	1,40	1,33	1,25	1,20	1,16
0,45	19,10	5,50	2,90	2,00	1,70	1,45	1,42	1,32	1,25	1,20
0,50	23,40	6,50	3,40	2,30	1,80	1,50	1,51	1,40	1,31	1,25
0,55	28,10	7,75	3,90	2,60	1,90	1,65	1,62	1,50	1,37	1,30
0,60	33,30	9,00	4,50	2,90	2,20	1,80	1,57	1,60	1,44	1,36
0,65	—	—	5,15	3,30	2,45	1,95	1,68	1,60	1,52	1,42
0,70	—	—	5,80	3,70	2,70	2,10	1,81	1,60	1,60	1,49
0,75	—	—	6,55	4,10	2,95	2,30	1,94	1,70	1,52	1,56
0,80	—	—	7,30	4,50	3,20	2,50	2,08	1,80	1,61	1,64
0,85	—	—	8,15	5,00	3,50	2,70	2,24	1,90	1,70	1,63
0,90	—	—	9,00	5,50	3,80	2,90	2,40	2,00	1,80	1,62
0,95	—	—	—	6,00	4,15	3,15	2,57	2,15	1,90	1,70
1,00	—	—	—	6,50	4,50	3,40	2,74	2,30	2,01	1,80

Таблица 9.6. Тройники сварные. Разделение на расходящиеся противоположные потоки. Значения коэффициента  $\xi_b$

$Q_b/Q_c$	$F_b/F_c$										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,0	1,00	1,00	1,01	1,03	1,05	1,08	1,11	1,15	1,17	1,24	1,30
1,1	1,00	1,00	1,01	1,02	1,04	1,06	1,09	1,12	1,16	1,20	1,25
1,2	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,05	1,08	1,10	1,13	1,17	1,21
1,3	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,06	1,09	1,11	1,14	1,18
1,4	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,12	1,15
1,5	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13
1,6	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	1,06	1,08	1,09	1,12
1,7	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08	1,10
1,8	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09
1,9	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08
2,0	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08

Врезка штуцера (рис. 9.15). Коэффициенты сопротивления  $\xi_n$  и  $\xi_b$  в этом случае учитывают местные сопротивления между сечениями  $n-n$  и  $c-c$ ,  $b-b$  и  $c-c$  и относятся к скорости  $w_c$  соединенного потока в сечении  $c-c$ ;  $\xi_b$  — коэффициент сопротивления бокового ответвления;  $\xi_n$  — коэффициент сопротивления прямого прохода;  $q=Q_b/Q_c$ ;  $a=F_b/F_c$ . Общий коэффициент сопротивления тройника  $\xi=\xi_n+\xi_b$ . В этом случае возможны также два варианта. При первом из них — слиянии потоков (прямой проход) —  $\xi_n=1-(1-q)^2-(2q^2/a)\cos\alpha$ . Формула применима для  $\alpha<90^\circ$ . Значения  $\xi_n$  при-

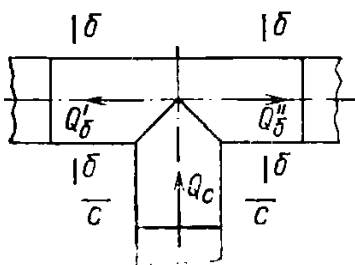


Рис. 9.13. Тройники сварные. Разделение на расходящиеся противоположные потоки

ведены в табл. 9.9. Для бокового ответвления коэффициент сопротивления  $\xi_b=1+(q/a)^2-2(1-q)^2-(2q^2/a)\cos\alpha$ . Значения  $\xi_b$  приведены в табл. 9.10. Второй вариант — разделение потока (прямой проход). Для этого случая коэффициент сопротивления

$\xi_n=0,4\left(1-\frac{w_n}{w_c}\right)^2$ . Значения  $\xi_n$  приведены в табл. 9.11. Для бокового ответвления

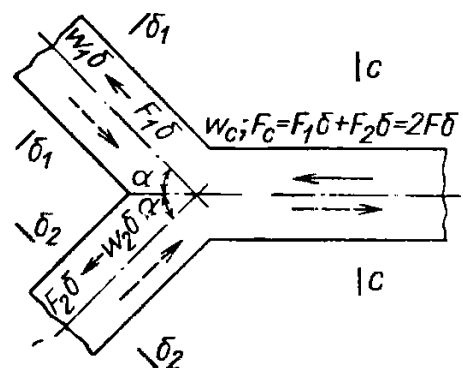


Рис. 9.14. Тройник-развилка. Слияние потоков и их разделение



Таблица 9.7. Тройники-развилки. Слияние потоков. Значения коэффициента  $\xi_6$

$\alpha$ , град	$q=Q_6/Q_c$										
	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
15	-2,56	-1,89	-1,30	-0,77	-0,30	+0,10	0,41	0,67	0,85	0,97	1,04
30	-2,05	-1,51	-1,00	-0,53	-0,10	+0,28	0,69	0,91	1,09	1,37	1,55
45	-1,30	-0,93	-0,55	-0,16	+0,20	0,56	0,92	1,26	1,61	1,95	2,30

Таблица 9.8. Тройники-развилки. Разделение потока. Значения коэффициента  $\xi_6$

$\alpha$ , град	$w_6/w_c$												
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
15	0,81	0,65	0,51	0,38	0,28	0,19	0,06	0,03	0,06	0,13	0,35	0,63	0,98
30	0,84	0,69	0,56	0,44	0,34	0,26	0,16	0,11	0,13	0,23	0,37	0,60	0,89
45	0,87	0,74	0,63	0,54	0,45	0,38	0,28	0,23	0,22	0,28	0,38	0,53	0,73

Таблица 9.9. Врезка штуцера. Слияние потоков. Прямой проход. Значения коэффициента  $\xi_n$

$Q_6/Q_c$	$F_6/F_c$							
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	
$\alpha=30^\circ$								
0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	+0,02	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17
0,2	-0,33	+0,01	+0,13	0,19	0,24	0,27	0,29	0,29
0,3	-1,10	-0,25	-0,01	+0,10	0,22	0,30	0,35	0,35
0,4	-2,15	-0,75	-0,30	-0,05	+0,17	0,26	0,36	0,36
0,5	-3,60	-1,43	-0,70	-0,35	0,00	+0,21	0,32	0,32
0,6	-5,40	-2,35	-1,25	-0,70	-0,20	+0,06	0,25	0,25
0,7	-7,60	-3,40	-1,95	-1,20	-0,50	-0,15	+0,10	+0,10
0,8	-10,10	-4,61	-2,74	-1,82	-0,90	-0,43	-0,15	-0,15
0,9	-13,00	-6,02	-3,70	-2,55	-1,40	-0,80	-0,45	-0,45
1,0	-16,30	-7,70	-4,75	-3,35	-1,19	-1,17	-0,75	-0,75
$\alpha=45^\circ$								
0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	+0,05	+0,12	0,14	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17
0,2	-0,20	+0,17	0,22	0,27	0,27	0,29	0,29	0,31
0,3	-0,76	-0,13	+0,08	0,20	0,28	0,32	0,32	0,40
0,4	-1,65	-0,50	-0,12	+0,08	0,26	0,36	0,36	0,41
0,5	-2,77	-1,00	-0,49	-0,13	+0,16	0,30	0,40	0,40
0,6	-4,30	-1,70	-0,87	-0,45	-0,04	+0,20	0,33	0,33
0,7	-6,05	-2,60	-1,40	-0,85	-0,25	+0,08	0,25	0,25
0,8	-8,10	-3,56	-2,10	-1,30	-0,55	-0,17	+0,06	+0,06
0,9	-10,00	-4,75	-2,80	-1,90	-0,88	-0,40	-0,18	-0,18
1,0	-13,20	-6,10	-3,70	-2,55	-1,35	-0,77	-0,42	-0,42
$\alpha=60^\circ$								
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	+0,09	0,14	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18
0,2	0,00	0,16	0,23	0,23	0,29	0,31	0,32	0,32
0,3	-0,40	+0,06	0,22	0,30	0,32	0,41	0,42	0,42
0,4	-1,00	-0,16	+0,11	0,24	0,37	0,44	0,48	0,48
0,5	-1,75	-0,50	-0,08	+0,13	0,33	0,44	0,50	0,50
0,6	-2,80	-0,95	-0,35	-0,10	0,25	0,40	0,48	0,48
0,7	-4,00	-1,55	-0,70	-0,30	+0,08	0,28	0,42	0,42
0,8	-5,44	-2,24	-1,17	-0,64	-0,11	+0,16	0,32	0,32
0,9	-7,20	-3,08	-1,70	-1,02	-0,38	-0,08	+0,18	+0,18
1,0	-9,00	-4,00	-2,30	-1,50	-0,68	-0,28	0,00	0,00

коэффициент сопротивления  $\xi_6=A'[1+(q/a)^2-(2q/a)\cos\alpha]$ . При  $q/a \leq 0,8$   $A'=1$ , при  $q/a > 0,8$   $A'=0,9$ . Значения  $\xi_6$  приведены для этого случая в табл. 9.12.

Переход на меньший или больший диаметр. При переходе трубопровода на меньший или больший диаметр (рис. 9.16) коэф-

фициент сопротивления  $\xi=\xi_{расш}+\xi_{гр}$ . Принимается, что на входе в переход поле скоростей равномерное. Коэффициент  $\xi$  отнесен к скорости в сечении трубы  $d$  по ее условному проходу. Значения  $\xi$  для этого случая приведены в табл. 9.13, составленной для условия  $Re > 10^4$  и  $l/d > 1$ .

Таблица 9.10. Врезка штуцера. Слияние потоков. Боковое ответвление. Значения коэффициента  $\xi_6$

$Q_6/Q_c$	$F_6/F_c$						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
$\alpha=30^\circ$							
0,0	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
0,1	+0,21	-0,46	-0,57	-0,60	-0,62	-0,63	-0,63
0,2	3,10	+0,37	-0,06	-0,20	-0,28	-0,30	-0,36
0,3	7,60	1,50	+0,50	+0,20	+0,05	-0,08	-0,10
0,4	13,50	2,95	1,15	0,59	0,26	0,18	0,16
0,5	21,20	4,58	1,78	0,97	0,44	0,35	0,27
0,6	30,40	6,42	2,60	1,37	0,64	0,46	0,31
0,7	41,30	8,50	3,40	1,77	0,76	0,50	0,40
0,8	53,80	11,50	4,22	2,14	0,85	0,53	0,45
0,9	58,00	14,20	5,30	2,58	0,89	0,52	0,40
1,0	83,70	17,30	6,33	2,92	0,89	0,39	0,27
$\alpha=45^\circ$							
0,0	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
0,1	+0,24	-0,45	-0,56	-0,59	-0,61	-0,62	-0,62
0,2	3,15	+0,54	-0,02	-0,17	-0,26	-0,28	-0,29
0,3	8,00	1,64	+0,60	+0,30	+0,08	0,00	-0,03
0,4	14,00	3,15	1,30	0,72	0,35	+0,25	+0,21
0,5	21,90	5,00	2,10	1,18	0,60	0,45	0,40
0,6	31,60	6,90	2,97	1,65	0,85	0,60	0,53
0,7	42,90	9,20	3,90	2,15	1,02	0,70	0,60
0,8	55,90	12,40	4,90	2,66	1,20	0,79	0,66
0,9	70,60	15,40	6,20	3,20	1,30	0,80	0,64
1,0	86,90	18,90	7,40	3,71	1,42	0,80	0,59
$\alpha=60^\circ$							
0,0	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
0,1	+0,26	-0,42	-0,54	-0,58	-0,61	-0,62	-0,62
0,2	3,35	+0,55	+0,03	-0,13	-0,23	-0,26	-0,26
0,3	8,20	1,85	0,75	+0,40	+0,10	0,00	-0,01
0,4	14,70	3,50	1,55	0,92	0,45	+0,35	+0,28
0,5	23,00	5,50	2,40	1,44	0,78	0,58	0,50
0,6	33,10	7,90	3,50	2,05	1,08	0,80	0,68
0,7	44,90	10,00	4,60	2,70	1,40	0,98	0,84
0,8	58,50	13,70	5,80	3,32	1,64	1,12	0,92
0,9	73,90	17,20	7,65	4,05	1,92	1,20	0,99
1,0	91,00	21,00	9,70	4,70	2,11	1,35	1,00

Таблица 9.11. Врезка штуцера. Разделение потока. Прямой проход. Значения коэффициента  $\xi_{II}$  при  $\alpha=15^\circ-90^\circ$

$F_{II}/F_c$	$w_{II}/w_c$								
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
0-1,0	0,40	0,32	0,26	0,20	0,15	0,10	0,06	0,02	0,00

Таблица 9.12. Врезка штуцера. Разделение потока. Боковое ответвление. Значения коэффициента  $\xi_6$

$w_6/w_c$	Угол $\alpha$		
	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$
0,0	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,97	0,90
0,2	0,70	0,75	0,84
0,4	0,46	0,60	0,76
0,6	0,31	0,50	0,65
0,8	0,25	0,51	0,80
1,0	0,27	0,58	1,00
1,2	0,36	0,74	1,23
1,4	0,70	0,98	1,54
1,6	0,80	1,30	1,98
2,0	1,52	2,16	3,00
2,6	3,23	4,10	5,15
3,0	7,40	7,80	8,10
4,0	14,20	14,80	15,00
5,0	23,50	23,80	24,00
6,00	34,50	35,00	35,00
8,00	62,70	63,00	63,00
10,00	98,30	98,60	99,0

Вход в трубу с внезапным сужением. При входе в трубу с внезапным сужением (рис. 9.17) коэффициент местного сопротивления  $\xi$  отнесен к скорости в сечении  $a-a$  и равен  $\xi=0,5[1-(d/D)^2]$ . Значения  $\xi$

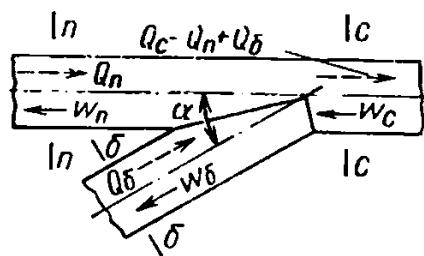


Рис. 9.15. Врезка штуцера. Слияние потоков и их разделение, прямой проход и боковое ответвление

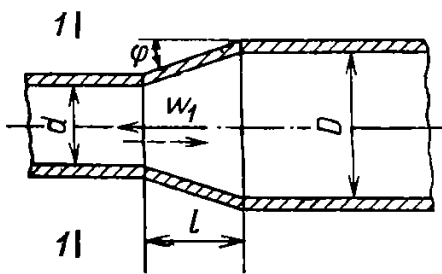


Рис. 9.16. Переход на меньший или больший диаметр

Таблица 9.13. Переход на меньший или больший диаметр ( $Re > 10^4$  и  $\frac{l}{d} > 1$ ).

Значения коэффициента  $\xi$

$(\frac{d}{D})^2$	Переход на меньший диаметр		Переход на больший диаметр	
	$\varphi=12^\circ$	$\varphi=15^\circ$	$\varphi=12^\circ$	$\varphi=15^\circ$
0,80	0,050	0,040	0,030	0,040
0,75	0,057	0,045	0,035	0,045
0,70	0,065	0,050	0,040	0,050
0,65	0,072	0,055	0,045	0,055
0,60	0,080	0,060	0,050	0,070
0,55	0,087	0,065	0,060	0,080
0,50	0,095	0,070	0,070	0,070

приведены ниже (при  $Re > 10^4$ ):

$(\frac{d}{D})^2$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\xi$	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25

Продолжение

$(\frac{d}{D})^2$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\xi$	0,20	0,15	0,10	0,05	0,00

Вход в трубу с внезапным расширением. При входе в трубу с внезапным расширением потока (рис. 9.18) коэффициент местного сопротивления  $\xi$  отнесен к скорости в сечении  $a-a$  и равен  $\xi = [1 - (d/D)^2]^2$ . Значения  $\xi$  при  $Re > 4,0 \cdot 10^3$  следующие:

$(\frac{d}{D})^2$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4
$\xi$	1,00	0,81	0,64	0,50	0,36

Продолжение

$(\frac{d}{D})^2$	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
$\xi$	0,25	0,16	0,09	0,04	0,00

Вход в трубу, заделанную в стенку. При входе в трубу, заделанную в стенку (рис. 9.19), коэффициенты местного сопротивления должны приниматься по табл. 9.14. Данные таблицы приведены для  $Re > 10^4$ .

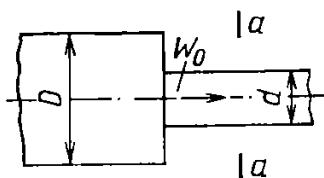


Рис. 9.17. Вход в трубу с внезапным сужением

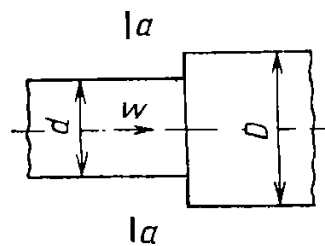


Рис. 9.18. Вход в трубу с внезапным расширением

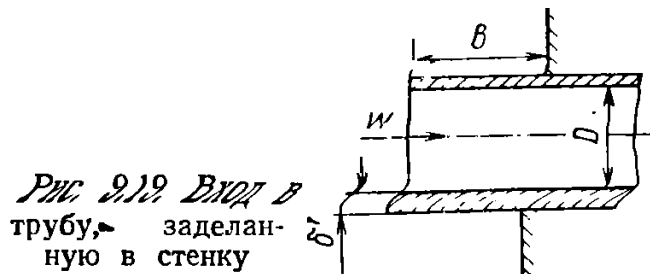


Рис. 9.19. Вход в трубу, заделанную в стенку

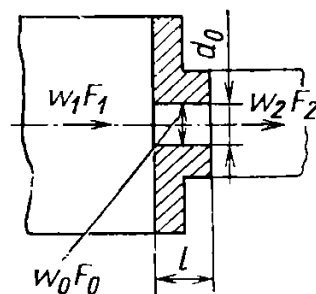


Рис. 9.20. Шайбы дросселирующие для несжимаемых жидкостей

Таблица 9.14. Вход в трубу, заделанную в стенку ( $Re > 10^4$ ). Значения коэффициента  $\xi$

$\delta'/D$	$b/D$							
	0,00	0,01	0,02	0,05	0,10	0,20	0,50	$\infty$
0,00	0,50	0,68	0,73	0,80	0,86	0,92	1,00	1,00
0,02	0,50	0,52	0,53	0,55	0,60	0,66	0,72	0,72
0,03	0,50	0,51	0,52	0,52	0,54	0,57	0,61	0,61
0,04	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	0,52	0,54	0,54
$\infty$	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Шайбы дросселирующие для несжимаемых жидкостей. Коэффициент местного сопротивления дросселирующих шайб для несжимаемых жидкостей (рис. 9.20) отнесен к скорости  $w_0$  и равен

$$\xi_0 = 0,5a + \tau \sqrt{a^2 + c^2}, \text{ где } a = 1 - \frac{F_0}{F_1}; \quad c = 1 - \frac{F_0}{F_2}; \quad F_1, F_2, F_0 - \text{площади проходов.}$$

Значения коэффициента  $\tau$  приведены в зависимости от  $l/d_0$ :

$\frac{l}{d_0}$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
$\tau$	1,30	1,25	1,22	1,20	1,18	1,10

Продолжение

$\frac{l}{d_0}$	0,60	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,4
$\tau$	0,84	0,42	0,24	0,16	0,07	0,02	0,0

Для случая  $F_1 = F_2, a = c$

$$\xi_0 = 0,5a + \tau \sqrt{a^2 + a^2},$$

Таблица 9.15. Коэффициенты сопротивления арматуры Чеховского завода энергетического машиностроения (ВАЗ), БКЗ и ТКЗ (€)

Продолжение табл. 9.15

Обозначение	Шифр	$D_{y'}$ мм	$P_D/t$ , кгс/(см <sup>2</sup> ·°C)	€	
<b>Задвижка ВАЗ</b>					
883-100	В-305	100	140/170	0,6	
808-100	В-405		185/215; 230/230	1,07	
881-100	В-505	100	255/565	0,2	
880-100	В-605		380/280	0,6	
883-100	В-205		100/540	1,07	
885-125	В-281		125	100/540	0,2
885-150	В-284	150	100/540	0,7	
886-150	В-907		$P_y=64 \div 100$	1,3	
882-150	В-407	150	185/215; 230/230	0,7	
885-150	В-707		41/570	0,3	
881-150	В-507		255/565	0,48	
880-150	В-607		380/280	1,5	
883-175	В-282	175	100/540	0,48	
882-175	В-480		185/215; 230/230	0,42	
883-175	В-308	200	140/570	0,24	
881-200	В-509		255/565	0,4	
880-200	В-609		380/280	0,46	
883-200	В-309		140/570	0,38	
883-225	В-810	225	200/510	0,28	
883-225	В-210		100/540	0,9	
882-225	В-410		185/215; 230/230	0,75	
883-250	В-283	250	100/540	0,5	
883-250	В-381		140/570	0,24	
882-250	В-411		230/230; 185/215	1,85	
887-250	В-711	250	41/570	0,46	
880-250	В-611		380/280	0,9	
883-250	В-811		290/510	1,15	
886-250	В-911		$P_y=64 \div 100$	0,46	
882-300	В-412		300	230/230	2,8
880-300	В-612			380/280	2,5
883-300	В-312	140/570		0,65	
—	В-780	400	41/570	0,3	
—	В-781	450	41/570	0,3	
—	В-782		500	41/570	0,3
—	В-916		44/340	0,3	
—	В-917	600	44/340	0,25	
—	В-717		41/570	0,25	
<b>Задвижки БКЗ</b>					
2с-20-2	940	200	$P_y=64$	1,63	
2с-21-2	943		$P_y=64$	1,63	
2с-22-2	948		$P_y=64$	1,63	
2с-23-2	972		$P_y=100$	1,2	
2с-24-2	976		$P_y=100$	1,2	
2с-21-4	945		300	$P_y=64$	1,03
2с-22-4	950	$P_y=64$		1,03	
2с-23-4	974	$P_y=100$		1,22	
2с-24-4	978	$P_y=100$		1,22	
2с-21-5	946	350	$P_y=64$	1,6	
2с-22-5	951		$P_y=64$	1,6	

Обозначение	Шифр	$D_{y'}$ мм	$P_D/t$ , кгс/(см <sup>2</sup> ·°C)	€
<b>Вентили ВАЗ регулирующие, запорные</b>				
589-20-0	В-502	20	255/565	7,8
588-20-0	В-602		185/215; 230/230 380/280; $P_y=64 \div 100$	
838-65-0	В-403	65	230/230	7,8
<b>Вентиль БКЗ</b>				
10с-4-2	913	32	$P_y=64$	235
<b>Вентили ТКЗ</b>				
Т-107 <sup>б</sup>	106	50	$P_y=100$	5,5
Т-108 <sup>б</sup>	934		$P_y=100$	5,5
Т-109 <sup>б</sup>	957	100	$P_y=100$	5,2
Т-110 <sup>б</sup>	959		$P_y=100$	5,2
Т-111 <sup>б</sup>	962		$P_y=100$	5,2
Т-112 <sup>б</sup>	958	150	$P_y=100$	5,0
Т-113 <sup>б</sup>	960		$P_y=100$	5,0
Т-114 <sup>б</sup>	963		$P_y=100$	5,0
<b>Клапаны ВАЗ</b>				
720-20-0	В-513	20	$P_y=64 \div 100$ ; 255/565; 185/215; 230/230; 380/280	7,8
842-64-0	В-414		65	
<b>Клапаны БКЗ</b>				
4с-1-1	931	100	$P_y=64$	4,4
4с-2-1	931		$P_y=100$	4,4
4с-1-2	932	150	$P_y=64$	3,75
4с-2-2	932		$P_y=100$	3,75
4с-1-3	933	200	$P_y=64$	4,06
4с-2-3	—		$P_y=100$	4,06
4с-1-4	—	250	$P_y=64$	5,74
9с-4-2	—	32	$P_y=64$	235
9с-3-3-1	—	50	$P_y=64$	445
9с-3-3-2	—		$P_y=64$	400
9с-3-3-3	—		$P_y=64$	180—200
9с-3-3-4	—		$P_y=64$	70—90
<b>Клапаны ТКЗ</b>				
Т-18 <sup>б</sup> -2	—	100	$P_y=64$	5,2
Т-118 <sup>б</sup>	981		$P_y=100$	5,2
Т-18 <sup>б</sup> -3	929	150	$P_y=64$	5,2
Т-18 <sup>б</sup> -4	930		200	$P_y=64$

Таблица 9.16. Коэффициенты сопротивления промышленной трубопроводе (ε) арматуры

Наименование	Шифр	$D_y$ , мм	$P_y$ , кгс/см <sup>2</sup>	ε
Задвижка клиновая	30с76	50	64	0,7
Задвижка параллельная	30ч6	50—400	10	0,2—0,25
Вентили запорные фланцевые	15с27	15—40	64	4,8—7,2
	15кч19	25—50	16	4,5—5,0
	15ч14	70—200	16	5,2
Вентиль запорный прямооточный футерованный	15ч52	25—200	6 (100 °С)	2,0—2,5
Вентиль запорный прямооточный	15с68	80—100	15,5 (225 °С)	1,35—2,5
Вентиль запорный диафрагмовый гуммированный	15ч60	25—100	6 (50 °С)	1,5—2,0
Клапан обратный поворотный	11ч16	50—600	10 и 16	0,8—9,4
Клапан обратный поворотный многодисковый	19ч18	800—1000	10	1,8—1,9
Клапан обратный подъемный	16ч6	100	10 и 16	6,4

Шайбы дросселирующие на паропроводе ( $k=1,3$ ). Для выбора диаметра шайбы  $d_0$  можно пользоваться графиком рис. 9.21, где коэффициент сопротивления  $\xi$  отнесен к внутреннему диаметру трубы  $D$  и параметрам пара перед шайбой. Семейство линий графика соответствует различным отношениям потерь давления в шайбе  $\Delta p_{ш}$  к давлению  $p_1$  перед шайбой ( $\Delta p_{ш}/p_1=0,4; 0,3; 0,2; 0,1$  и 0). График действителен при длине прямых участков не менее  $5D$  до шайбы и  $10D$  после нее.

Прочие элементы. Свободный выход из трубы (рис. 9.22) —  $\xi=1$ . Однако это не распространяется на паропроводы с критическими скоростями течения пара, когда падение давления равно разнице между на-

Таблица 9.17. Внутренние расчетные диаметры, площади прохода труб и их коэффициенты (в том числе и удельные) сопротивления трения

Наружный диаметр и толщина стенки $D_H \times S$ , мм	Внутренний расчетный диаметр $d_p$ , мм	Расчетная площадь прохода $F_p$ , см <sup>2</sup>	$F_p \times 3600$ , м <sup>2</sup> ·с	Коэффициент сопротивления трения $\lambda$	Удельный коэффициент сопротивления трения $\lambda/d_p$ , 1/м
---	---	---	---------------------------------------	--	---

Трубы бесшовные трубопроводов высокого давления,  $k_B=0,2$  мм

16×2,0	11,90	1,11	0,40	0,04546	3,8202
16×2,5	10,87	0,93	0,33	0,04705	4,3284
16×3	9,85	0,76	0,27	0,04884	4,9583
16×3,5	8,83	0,61	0,22	0,05095	5,7701
28×2,5	22,87	4,10	1,48	0,03619	1,5824
28×3,0	21,85	3,75	1,35	0,03675	1,6820
28×3,5	20,82	3,40	1,22	0,03734	1,7935
28×4,0	19,80	3,08	1,11	0,03797	1,9176
28×4,5	18,77	2,76	0,99	0,03867	2,0602
28×5,5	16,72	2,19	0,79	0,04025	2,4073
28×6,0	15,70	1,93	0,70	0,04114	2,6204
32×3,0	25,85	5,24	1,89	0,03478	1,3454
38×3,0	31,85	7,96	2,87	0,03253	1,0213
57×3,0	50,85	20,30	7,30	0,02824	0,5553
57×3,5	49,82	19,50	7,02	0,02842	0,5704
57×7,0	42,65	14,28	5,14	0,02175	0,6975
57×9,0	38,55	11,66	4,20	0,03067	0,7956
57×11,0	34,45	9,31	3,35	0,03175	0,9216
57×13,0	30,35	7,23	2,60	0,03303	1,0883
76×3,5	68,82	37,18	13,38	0,02591	0,3765
76×7	61,65	29,83	10,74	0,02572	0,4334
76×7,5	60,62	28,85	10,38	0,02685	0,4429
76×9,0	57,55	26,00	9,36	0,02725	0,4735
76×10,0	55,50	24,19	8,70	0,02753	0,4960
76×13,0	49,35	19,12	6,88	0,02850	0,5775
89×4,0	80,80	51,85	18,45	0,02478	0,3067
89×6,0	76,70	46,18	16,62	0,02513	0,3277
108×4,5	98,77	76,60	27,60	0,02349	0,2378
108×6,0	95,70	71,89	25,88	0,02367	0,2473
108×8,0	91,60	65,86	23,71	0,02395	0,2615
108×20,0	67,00	35,24	12,70	0,02610	0,3896
108×22,0	69,90	31,06	11,23	0,02696	0,4222
133×5,0	122,25	117,32	42,20	0,02219	0,1815
133×11,0	109,85	94,73	34,10	0,02282	0,2077
133×13,0	105,05	86,55	31,16	0,02309	0,2198
133×16,0	98,60	78,32	28,19	0,02348	0,2381
133×20,0	90,00	63,58	22,89	0,02406	0,2673
159×7,0	143,95	162,66	58,56	0,02128	0,1478
159×8,0	141,80	157,84	56,82	0,02137	0,1507
159×9,0	139,65	153,09	55,11	0,02145	0,1536
159×13,0	131,05	134,82	48,53	0,02180	0,1663

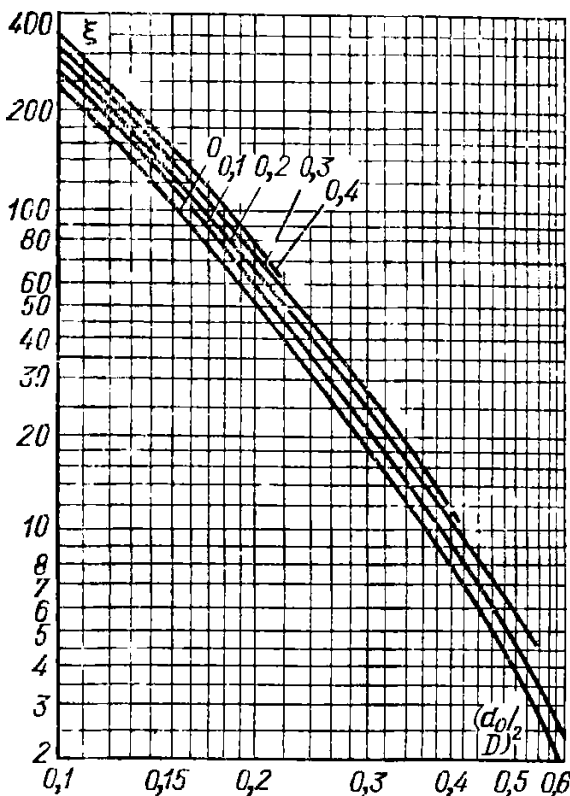


Рис. 9.21. График для определения коэффициента гидродинамического сопротивления шайбы, отнесенного к проходу трубы, устанавливаемой на паре ( $k=1,3$ )

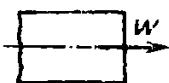


Рис. 9.22. Свободный выход из трубы

Наружный диаметр и толщина стенки $D_H \times S$ , мм	Внутренний расчетный диаметр $d_p$ , мм	Расчетная площадь прохода $F_p$ , см <sup>2</sup>	$F_p \times 3600$ , м <sup>2</sup> ·с	Коэффициент сопротивления трения $\lambda$	Удельный коэффициент сопротивления трения $\lambda/d_p$ , 1/м
150×15,0	120,75	126,11	45,40	0,02199	0,1735
150×30,0	94,50	70,10	25,20	0,02375	0,2513
159×32,0	90,20	63,87	22,90	0,02405	0,2666
194×16,0	159,60	199,95	71,98	0,02074	0,1282
194×17,0	157,45	194,60	70,06	0,02081	0,1322
194×18,0	155,30	189,33	68,16	0,02088	0,1344
194×22,0	146,70	168,94	60,82	0,02118	0,1444
194×26,0	138,10	149,71	53,90	0,02151	0,1557
194×36,0	116,60	106,72	38,42	0,02247	0,1327
194×38,0	112,30	99,00	35,64	0,02270	0,2321
219×9,0	199,65	312,90	112,64	0,01962	0,0983
219×13,0	191,05	286,52	103,15	0,01984	0,1038
219×18,0	180,30	255,19	91,87	0,02012	0,1116
219×19,0	178,15	249,14	89,69	0,02018	0,1133
219×20,0	176,00	243,16	87,54	0,02024	0,1150
219×25,0	165,25	214,36	77,17	0,02056	0,1244
219×28,0	158,80	197,96	71,26	0,02076	0,1307
219×32,0	150,20	177,10	63,75	0,02111	0,1402
245×42,0	154,00	187,87	67,63	0,02090	0,1350
245×45,0	148,25	172,53	62,11	0,02113	0,1425
245×48,0	141,80	157,84	56,82	0,02137	0,1507
273×10,0	251,50	496,53	178,75	0,01857	0,0738
273×11,0	249,35	488,08	175,71	0,01860	0,0746
273×13,0	245,05	471,20	169,63	0,01868	0,0726
273×16,0	238,60	446,90	160,88	0,01880	0,0789
273×19,0	232,15	423,06	152,30	0,01892	0,0815
273×22,0	225,70	399,88	144,36	0,01905	0,0844
273×24,0	221,40	384,79	138,52	0,01914	0,0864
273×25,0	219,25	377,35	135,84	0,01918	0,0875
273×32,0	204,20	327,33	117,84	0,01952	0,0956
273×34,0	199,90	313,69	112,93	0,01962	0,0981
273×36,0	195,60	300,34	108,12	0,01972	0,1008
273×45,0	176,25	243,85	87,78	0,02023	0,1148
273×52,0	161,20	203,98	73,43	0,02060	0,1280
325×13,0	277,05	692,67	249,36	0,01786	0,0601
325×19,0	284,15	633,82	228,10	0,01804	0,0635
325×22,0	277,70	605,37	217,93	0,01814	0,0653
325×26,0	269,10	568,46	204,64	0,01827	0,0679
325×30,0	264,80	550,43	198,15	0,01834	0,0693
325×30,0	260,50	532,70	191,77	0,01841	0,0707
325×38,0	243,30	464,68	167,28	0,01871	0,0768
325×40,0	239,00	447,40	161,42	0,01879	0,0786
325×42,0	234,70	432,41	155,67	0,01887	0,0804
325×56,0	204,60	320,61	118,66	0,01951	0,0954
325×60,0	196,00	301,56	108,56	0,01971	0,1006
377×13,0	349,05	956,41	344,31	0,01720	0,0493
377×17,0	340,45	909,86	327,55	0,01730	0,0508
377×26,0	321,10	809,37	291,37	0,01754	0,0546
377×28,0	316,80	787,84	283,84	0,01759	0,0555
377×32,0	308,20	745,65	268,43	0,01770	0,0574
377×45,0	280,25	616,54	221,95	0,01810	0,0646
377×50,0	269,50	570,15	205,25	0,01826	0,0677
377×60,0	248,00	482,80	178,80	0,01863	0,0751
377×70,0	226,50	402,72	144,99	0,01904	0,0840
426×14,0	395,90	1230,38	442,93	0,01672	0,0422
426×15,0	393,75	1217,05	438,14	0,01674	0,0425
426×19,0	385,15	1164,47	419,21	0,01683	0,0437
426×36,0	348,60	953,95	343,42	0,01721	0,0494
426×80,0	254,00	506,45	182,32	0,01852	0,0720
465×16,0	430,60	1455,52	523,99	0,01641	0,0381
465×19,0	424,15	1412,24	508,41	0,01646	0,0388
465×22,0	417,40	1367,65	492,35	0,01652	0,0396
465×56,0	344,60	932,18	335,58	0,01726	0,0501
465×60,0	336,00	886,23	319,04	0,01736	0,0516
465×75,0	303,75	724,27	260,74	0,01768	0,0582
465×80,0	293,00	673,91	242,61	0,01791	0,0611
530×25,0	476,25	1783,49	640,97	0,01605	0,0337
530×65,0	390,25	1195,51	430,38	0,01678	0,0430
630×17,0	593,45	2764,63	995,27	0,01530	0,0258
630×25,0	576,25	2606,70	938,41	0,01539	0,0257
630×28,0	569,80	2548,67	917,52	0,01542	0,0270
630×80,0	458,00	1646,65	592,79	0,01618	0,0353
720×22,0	672,70	3552,32	1278,83	0,01489	0,0221
720×25,0	666,25	3484,53	1254,43	0,01492	0,0224

Наружный диаметр и толщина стенки $D_H \times S$ , мм	Внутренний расчетный диаметр $d_p$ , мм	Расчетная площадь прохода $F_p$ , см <sup>2</sup>	$F_p \times 3600$ , м <sup>2</sup> ·с	Коэффициент сопротивления трения $\lambda$	Удельный коэффициент сопротивления трения $\lambda/d_p$ , 1/м
---	---	---	---------------------------------------	--	---

Трубы бесшовные трубопроводов низкого давления,  $k_s=0,2$  мм

14×2	10,00	0,78	0,28	0,04856	4,8560
18×2	14,00	1,54	0,55	0,04283	3,0611
25×2	21,00	3,46	1,25	0,03723	1,7728
35×2	28,00	6,15	2,21	0,03389	1,2103
38×2	34,00	9,07	3,27	0,03188	0,9376
45×2,5	40,00	12,56	4,52	0,03033	0,7582
57×3	51,08	20,48	7,37	0,02820	0,5521
76×3	70,08	38,55	13,88	0,02577	0,3677
89×3,5	82,00	52,90	19,04	0,02467	0,3005
108×4	100,10	78,66	28,32	0,02339	0,2337
133×4	125,10	122,85	44,23	0,02206	0,1763
159×4,5	150,11	176,88	63,68	0,02106	0,1403
219×6	207,15	336,85	121,27	0,01945	0,0930
273×7	259,18	527,32	189,84	0,01843	0,0711
325×8	309,20	750,50	270,18	0,01769	0,0572
377×9	359,23	1013,01	364,68	0,01709	0,0476
426×9	408,23	1308,22	470,90	0,01661	0,0407

Трубы сварные трубопроводов низкого давления,  $k_s=0,3$  мм

25×2	21,00	3,46	1,25	0,04286	2,0409
32×2	28,00	6,15	2,21	0,03875	1,3839
38×2	34,00	9,07	3,27	0,03630	1,0676
57×3	51,00	20,42	7,35	0,03188	0,6251
76×3	70,00	38,47	13,85	0,02896	0,4137
89×3	83,00	54,08	19,47	0,02756	0,3319
108×3,5	101,00	80,08	28,83	0,02606	0,2580
133×3,5	126,00	124,63	44,87	0,02452	0,1946
159×4,5	150,90	178,75	64,35	0,02336	0,1548
219×6	208,20	340,28	122,50	0,02148	0,1032
273×6	262,20	539,68	191,28	0,02027	0,0773
325×6	314,20	774,96	279,90	0,01940	0,0617
426×7	413,20	1340,26	482,40	0,01817	0,0440
478×7	465,20	1698,83	611,58	0,01768	0,0380
478×8	463,60	1687,16	607,38	0,01769	0,0382
530×8	515,60	2086,87	751,27	0,01727	0,0335
630×8	615,60	2974,86	1070,95	0,01659	0,0269
630×9	613,60	2955,56	1064,00	0,01660	0,0270
720×8	705,60	3908,29	1406,98	0,01609	0,0228
720×10	701,60	3864,10	1391,07	0,01611	0,0229
820×9	803,60	5069,32	1824,96	0,01534	0,0195
820×11	799,60	5018,98	1806,83	0,01566	0,0196
920×9	903,60	6409,47	2307,41	0,01525	0,0169
920×12	897,60	6324,63	2276,86	0,01527	0,0170
1120×10	1001,60	7875,14	2835,05	0,01492	0,0150
1020×14	993,60	7749,84	2789,94	0,01494	0,0150
1220×11	1199,60	11296,46	4066,73	0,01436	0,0120
1220×14	1193,60	11183,75	4026,75	0,01438	0,0120
1420×14	1393,60	15245,65	5488,43	0,01392	0,0100

Примечания: 1. Внутренний расчетный диаметр  $d_p$ , мм, принимается по формуле

$$d_p = \left[ D_H - S \left( 2 + \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{100} \right) \right]$$

где  $D_H$  — наружный диаметр трубы, мм;  $S$  — номинальная толщина стенки трубы, мм;  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  — положительный и отрицательный допуски на толщину стенки ( $\Delta_2 < 0$ ), %. При симметричных допусках на толщину стенки  $\Delta_1 = -\Delta_2$  внутренний расчетный диаметр равен номинальному внутреннему диаметру трубы ( $D_H - 2S$ ).

2. При отсутствии в таблице требуемых диаметров удельные коэффициенты сопротивления трения  $\lambda/d_p$  можно определять по внутреннему диаметру трубы ввиду небольшой разницы между внутренним и расчетным диаметрами.

3. Сортамент труб для трубопроводов высокого давления соответствует сортаменту труб, приведенному в табл. 3.3 и 3.4, для труб трубопроводов низкого давления — по ОСТ 34.201-73.

чальным и конечным критическим давлениями.

*Компенсатор сальниковый* —  $\xi=0,2$ .

*Компенсатор линзовый многоволновый без стакана* —  $\xi=0,2$ .

*Компенсатор линзовый со стаканом (при любом числе линз)* —  $\xi=0,1$ .

*Арматура Чеховского завода энергети-*

ческого машиностроения, БКЗ и ТКЗ — значения  $\xi$  см. в табл. 9.15; промышленная трубопроводная арматура — значения  $\xi$  см. в табл. 9.16.

Внутренние расчетные диаметры, площади прохода труб и их коэффициенты (в том числе и удельные) сопротивления трения приведены в табл. 9.17.

## Раздел десятый

### РАСЧЕТЫ НЕКОТОРЫХ ДЕТАЛЕЙ СТАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ПРОЧНОСТЬ

#### 10.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для стационарных трубопроводов тепловых электростанций марки сталей и сортмент труб (диаметр и толщина стенки), отводы, ответвления, заглушки, переходы и прочие элементы следует принимать по разработанным на них отраслевым стандартам (ОСТ) в зависимости от температуры и давления транспортируемой трубопроводом среды.

Однако в процессе изготовления, монтажа, ремонта и эксплуатации трубопроводов возможны случаи отсутствия труб или материалов для отдельных элементов трубопровода по рекомендациям ОСТ. Тогда возникает необходимость замены предусмотренных проектом марок сталей и толщин стенок труб или листов для изготовления деталей. В этом случае помимо оценки возможности применения той или иной предлагаемой к применению марки стали, а также оценки пригодности технических условий, по которым будут поставляться эти трубы или листы, возникает необходимость проведения расчетов труб или деталей трубопровода на прочность под воздействием внутреннего давления. Кроме того, может возникнуть необходимость проверки допустимого давления для данных труб или деталей трубопроводов.

В связи с этим в настоящем разделе приведены методики расчета на прочность отдельных элементов и деталей трубопроводов, необходимость в которых возникает наиболее часто.

Расчет на прочность деталей и элементов трубопроводов сводится в основном к определению толщин их стенок и габаритных размеров в зависимости от давления среды и температуры. В большинстве случаев основные размеры деталей и элементов, определенные при этом с учетом ограничений, установленных для добавочных нагрузок в каждом конкретном случае, являются достаточными для обеспечения их прочности и надежности работы.

#### 10.2. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ТРУБ ТРУБОПРОВОДОВ, ДОПУСТИМОГО РАБОЧЕГО ДАВЛЕНИЯ И МАКСИМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ

##### 10.2.1. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ТРУБЫ

Номинальная толщина стенки трубы трубопровода, находящегося под внутренним давлением среды, должна быть не менее определенной по формуле

$$S = \frac{pD_n}{200\varphi[\sigma] + p} + C, \quad (10.1)$$

где  $S$  — номинальная толщина стенки трубы, мм;  $p$  — расчетное избыточное давление в ней, кгс/см<sup>2</sup>;  $D_n$  — наружный диаметр трубы, мм;  $\varphi$  — коэффициент прочности продольного сварного шва трубы;  $[\sigma]$  — номинальное допускаемое напряжение, кгс/см<sup>2</sup>;  $C$  — прибавка к расчетной толщине стенки, мм.

Формула пригодна при соблюдении условия

$$\frac{S - C}{D_n} \leq 0,25.$$

Минимальная расчетная толщина стенки трубы  $S_0$ , мм, без учета ослаблений ( $\varphi=1$ ) и прибавок ( $C=0$ ), мм, определяется по формуле

$$S_0 = \frac{pD_n}{200[\sigma] + p}. \quad (10.2)$$

Коэффициент прочности поперечных сварных швов труб, так же как и усиление сварного шва, в расчете на внутреннее давление не учитывается.

Коэффициент прочности продольного сварного шва  $\varphi$ . Коэффициенты прочности продольных сварных швов стационарных трубопроводов принимаются по

табл. 4.8. Для бесшовных труб коэффициент  $\varphi=1$ .

Прибавка  $C$  к расчетной толщине стенки трубы. Она может состоять из трех составляющих:  $C=C_1+C_2+C_3$ , различающихся по назначению:  $C_1$  — прибавка, компенсирующая минусовое отклонение по толщине стенки трубы, а также утонение при штамповке или гибке;  $C_2$  — прибавка, учитывающая искажение правильной геометрической формы при гибке труб;  $C_3$  — прибавка, компенсирующая потерю металла, вызванную окалинообразованием (коррозией) в условиях длительной эксплуатации. Для стационарных трубопроводов по ОСТ 108.031.02-75 прибавка  $C_3$  не вводится. Однако из-за коррозионного воздействия среды ЦКТИ (Ленинград) рекомендует принимать следующие прибавки  $C_3$ : для трубопроводов воды из углеродистой и перлитной стали  $C_3=1$  мм; для трубопроводов пара из тех же сталей  $C_3=0,5$  мм; для аустенитных сталей  $C_3=0$ .

Для прямых труб стационарных трубопроводов прибавка  $C=C_1$  и определяется по формуле

$$C_1=A_1(S-C),$$

где  $A_1$  — коэффициент, зависящий от предельного минусового отклонения по толщине стенки трубы; он устанавливается соответствующими ГОСТ или ТУ на поставку труб или листовую сталь, применяющуюся для изготовления сварных труб или деталей трубопроводов:

Предельное минусовое отклонение по толщине стенки, %	15	12,5	10	5
Значение $A_1$ . . . . .	0,18	0,14	0,11	0,05

В практических расчетах, поскольку толщина стенки трубы  $S$  еще не известна, определение прибавки  $C_1$  может производиться по формуле [17, с. 44]

$$C_1=A_1S_p,$$

где  $S_p$  — расчетная толщина стенки, определяемая по формуле:

$$S_p = \frac{pD_H}{200\varphi[\sigma] + p}. \quad (10.2a)$$

Для гнутых труб стационарных трубопроводов прибавка  $C=C_1+C_2$ . В этом случае прибавка  $C_1$  определяется по той же формуле, что и для прямых труб, но зна-

Таблица 10.1. Значения коэффициента  $A_1$  для гнутых труб в зависимости от минусового отклонения по толщине стенки и относительного радиусагиба

Относительный радиусгиба	Предельное минусовое отклонение по толщине стенки, %				
	15	12,5	10	5	0
$1,9 \leq \frac{R}{D_H} \leq 3,5$	0,20	0,17	0,15	0,10	0,08
$\frac{R}{D_H} > 3,5$	0,18	0,15	0,12	0,06	0,03

Таблица 10.2. Значения коэффициента  $A_2$  для гнутых труб питательных трубопроводов

$S_0/D_H$	Овальность $a$ , %			
	6	8	10	12
0,010	1,00	1,35	1,60	1,80
0,015	0,75	1,00	1,25	1,40
0,020	0,57	0,77	0,95	1,10
0,025	0,43	0,60	0,75	0,90
0,030	0,33	0,47	0,62	0,75
0,035	0,24	0,38	0,52	0,65
0,040	0,17	0,31	0,44	0,55
0,045	0,12	0,25	0,37	0,47
0,050	0,07	0,20	0,30	0,42
0,055	0,05	0,16	0,26	0,36
0,060	0,03	0,12	0,22	0,32
0,065	—	0,09	0,18	0,26
0,070	—	0,06	0,15	0,23
0,075	—	0,03	0,12	0,20
0,080	—	—	0,09	0,17
0,085	—	—	0,07	0,14
0,090	—	—	0,05	0,12
0,095	—	—	0,03	0,10
0,100	—	—	—	0,08
0,105	—	—	—	0,06
0,110	—	—	—	0,05
0,115	—	—	—	0,03

Примечания: 1. Прибавка  $C_2$  принимается только для труб с наружным диаметром  $\geq 76$  мм.  
2. Для промежуточных значений овальности  $a$  и  $S_0/D_H$  коэффициент  $A_2$  определяется интерполированием двух ближайших значений, имеющих в таблице, с округлением в сторону большего.

чения коэффициента  $A_1$ , зависящего при этом от минусового отклонения по толщине стенки трубы и относительного радиусагиба, принимаются по табл. 10.1, где  $R$  — радиус гнутого участка трубы (по нейтральной линии), мм;  $D_H$  — наружный диаметр трубы, мм.

Прибавка  $C_2$  для гнутых труб, учитывающая искажение правильной геометрической формы трубы (овальность) при ее гибке, определяется по формуле

$$C_2=A_2(S-C) \text{ или } C_2=A_2S_p,$$

где коэффициент  $A_2$ , зависящий от овальности гнутого участка трубы  $a$  и величины  $S_0/D_H$ , принимается для питательных трубопроводов по табл. 10.2 и для стационарных трубопроводов (кроме питательных) — по табл. 10.3, где овальность (некруглость)  $a$  гнутого участка трубы, %, определяется как

$$a = 200 \frac{D_{н.макс} - D_{н.мин}}{D_{н.макс} + D_{н.мин}},$$

где  $D_{н.макс}$ ,  $D_{н.мин}$  — соответственно максимальный и минимальный наружные диаметры, мм;  $S_0$  — минимальная расчетная толщина стенки, мм, определяемая по формуле (10.2);  $S_p$  — расчетная толщина стенки, мм, определяемая по формуле (10.2a).

Номинальное допускаемое напряжение  $[\sigma]$ . Оно принимается в зависимости от температуры стенки и марки стали трубы по табл. 3.5, 3.6 или 3.9.

Расчетное давление  $p$  и температура стенки трубы. За расчетное давление и температуру стенки трубы для определения



Таблица 10.3. Значения коэффициента  $A_2$  для гнутых труб стационарных трубопроводов, кроме питательных

$S_0/D_H$	Овальность $a$ , %		
	6	8	10
0,005	1,15	1,55	1,80
0,010	0,90	1,17	1,40
0,015	0,59	0,81	1,00
0,020	0,40	0,59	0,76
0,025	0,27	0,44	0,60
0,030	0,18	0,33	0,47
0,035	0,10	0,21	0,37
0,040	0,03	0,12	0,27
0,045	—	0,08	0,18
0,050	—	0,05	0,14
0,055	—	0,03	0,08
0,060	—	—	0,03
0,065	—	—	—

Примечание. Для промежуточных значений овальности  $a$  и  $S_0/D_H$  коэффициент  $A_2$  определяется интерполированием двух ближайших значений, имеющих в таблице, с округлением в сторону большего.

допускаемого напряжения принимаются данные, приведенные в § 8.1.

Вычисленная толщина стенки трубы округляется до ближайшего большего размера, имеющегося в сортаменте: допускается округление толщины стенки в меньшую сторону в пределах 3% номинальной толщины.

Во всех случаях номинальная толщина стенки труб диаметром  $\leq 100$  мм по [4] должна быть не менее следующих значений:

$D_H$ , мм (не более) . . . . .	38	51	70	90	108
$S_{мин}$ , мм . . . . .	1,75	2,0	2,50	3,00	3,50

### 10.2.2. ДОПУСТИМОЕ РАБОЧЕЕ ДАВЛЕНИЕ ДЛЯ ТРУБ И МАКСИМАЛЬНОЕ ПРОБНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ИСПЫТАНИИ

Допустимое рабочее давление  $p$ , кгс/см<sup>2</sup>, в трубопроводах определяется по одной из следующих формул:

$$p = \frac{200(S - C) \varphi [\sigma]}{D_H - (S - C)}$$

или

$$p = \frac{200(S_\phi - C_2) \varphi [\sigma]}{D_H - (S_\phi - C_2)},$$

где коэффициент прочности продольного шва  $\varphi$  принимается по табл. 4.8; значение прибавки  $C$  принимается по данным в п. 10.2.1, при этом

$$C_1 = S \frac{A_1}{1 + A_1};$$

$$C_2 = S \frac{A_2}{1 + A_2} \text{ или } C_2 = S_\phi \frac{A_2}{1 + A_2},$$

где для прямых труб коэффициент  $A_1$  принимается по данным в п. 10.2.1; для гнутых труб коэффициент  $A_1$  принимается по табл. 10.1, коэффициент  $A_2$  — по табл. 10.2 или 10.3;  $S_\phi$  — фактическая толщина стенки трубы, мм.

Фактическая толщина стенки трубы  $S_\phi$  для прямых труб принимается равной наименьшему из четырех значений измеренной толщины, по двум взаимно перпендикулярным диаметрам в одном сечении при числе проверяемых сечений не менее одного на каждые два метра длины трубы, но не менее трех сечений для всего участка. Измерение толщины стенки трубы допускается производить при помощи ультразвукового или иного толщиномера, обеспечивающего точность измерений не менее 3%.

Фактическая толщина стенки  $S_\phi$  для гнутых труб принимается по наименьшему, по крайней мере, из трех измерений, выполненных по наружной стороне гiba.

Пробное давление, кгс/см<sup>2</sup>, при гидравлическом испытании не должно превышать значения, вычисленного по одной из следующих формул:

$$p^r = \frac{250(S - C) \varphi [\sigma^{20}]}{D_H - (S - C)} \text{ при } \frac{S - C}{D_H} \leq 0,13;$$

$$p^r = 330 \frac{S - C}{D_H} \left(1 - \frac{S - C}{D_H}\right) \varphi [\sigma^2]$$

$$\text{при } \frac{S - C}{D_H} > 0,13,$$

где  $[\sigma^{20}]$  — допускаемое напряжение при температуре 20°C; остальные обозначения и их значения следует принимать по п. 10.2.1.

### 10.3. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ КОНИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА, ДОПУСТИМОГО РАБОЧЕГО ДАВЛЕНИЯ И МАКСИМАЛЬНОГО ПРОБНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ИСПЫТАНИИ

#### 10.3.1. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ КОНИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА

Номинальная толщина стенки конического перехода (рис. 10.1) должна быть не менее определенной по одной из следующих формул:

для бесшовных конических переходов (точечных, штампованных, обсаженных из труб, кованных и др.)

$$S = \frac{p D_3}{200 [\sigma] \cos \alpha - p} + C;$$

для конических переходов с продольным сварным швом

$$S = \frac{p D_H}{200 [\sigma] \varphi \cos \alpha - p} + C,$$

где  $D_H$  — внутренний диаметр большего основания конического перехода, мм;  $\alpha$  — угол конусности, равный половине угла у вершины конического перехода, град;  $C$  — прибавка, которая в этом случае принимается равной: для бесшовных конических переходов — значению, установленному соответствующими заводскими техническими

условиями для принятой технологии изготовления этих переходов; для конических переходов с продольным сварным швом, изготовленных из листа, — наибольшему минусовому отклонению по толщине листа, но не менее 1,0 мм; остальные обозначения и их значения следует принимать по п. 10.2.1.

Формулы пригодны при соблюдении следующих условий:

$$0,15 \geq \frac{S-C}{D_B} \geq 0,005;$$

$$\alpha \leq 45^\circ \text{ C};$$

$$\frac{D_0}{D_B} \leq \left[ 1 - 2,8 \frac{\sin \alpha}{\sqrt{\cos \alpha}} \times \right. \\ \left. \times \sqrt{\left( 1 + \frac{S-C}{D_B} \right) \frac{S-C}{D_B}} \right].$$

### 10.3.2. ДОПУСТИМОЕ РАБОЧЕЕ ДАВЛЕНИЕ ДЛЯ КОНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ И МАКСИМАЛЬНОЕ ПРОБНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ИСПЫТАНИИ

Допустимое рабочее давление при контрольных расчетах изготовленных конических переходов определяется по следующей формуле:

$$p = \frac{200(S-C) [\sigma] \varphi \cos \alpha}{D_0 + (S-C)}.$$

Коэффициент прочности продольного сварного шва принимается по табл. 4.8; для бесшовных переходов  $\varphi=1,0$ . Значение прибавки  $C$  принимается в соответствии с п. 10.3.1, так же как и остальные обозначения и их значения.

Пробное давление при гидравлическом испытании не должно превышать давления, вычисленного по формуле

$$p^r = \frac{250(S-C) \varphi [\sigma^{20}] \cos \alpha}{D_B + (S-C)}.$$

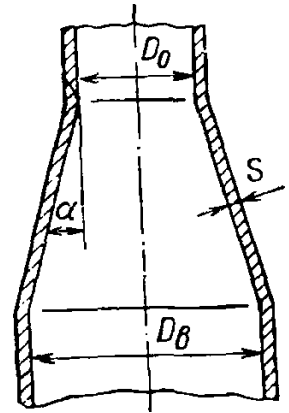
Коэффициент прочности продольного сварного шва принимается по табл. 4.8; для бесшовных переходов  $\varphi=1,0$ . Значения прибавки  $C$ , так же как и остальные обозначения и их значения, принимаются в соответствии с п. 10.3.1.

Значение принятого рабочего или пробного давления в трубопроводе не должно превышать соответственно значения рабочего или пробного давления, допустимого по условиям прочности для конического перехода.

### 10.4. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ШТАМПОВАННЫХ, ШТАМПОСВАРНЫХ И СВАРНЫХ ОТВОДОВ

Для штампованных, штамповварных и секторных (сварных) отводов (рис. 10.2), учитывая незначительную овальность и

Рис. 10.1. Расчетная схема конического перехода



практически отсутствующую разностенность, а также небольшие радиусы скругления, толщина стенки  $S$ , мм, вычисляется по формуле

$$S = S_p K + C,$$

где  $S_p$  — расчетная толщина стенки отвода, мм, определяемая по формуле (10.2а),  $D_H$  — наружный диаметр отвода, мм;  $[\sigma]$  — номинальное допускаемое напряжение, кгс/см<sup>2</sup>, принимаемое по табл. 3.5, 3.6 или 3.9;  $p$  — расчетное избыточное давление, кгс/см<sup>2</sup>, принимаемое согласно § 8.1;  $K$  — коэффициент усиления:

$$K = \frac{4R - D_H}{4R - 2D_H},$$

здесь  $R$  — радиус отвода, мм. Для сварных отводов (секторных) за радиус отвода  $R$  принимают условный радиус дуги отвода, вписанный в ломаную линию осей секторов, его составляющих;  $C$  — прибавка, мм, равная прибавке  $C_1$  и компенсирующая возможное утонение при штамповке. Она регламентируется, так же как и коэффициент прочности сварного шва, техническими условиями на изготовление этих отводов. Прибавка  $C_2$  принимается такой же, как и для прямых труб.

Для сварных отводов с  $D_H \geq 500$  мм, для которых по ОСТ  $R=D_H$ , коэффициент усиления  $K=1,5$ , толщина стенки  $S$ , мм, составит:

$$S = \frac{p D_H}{200 \varphi [\sigma] + p} 1,5 + C.$$

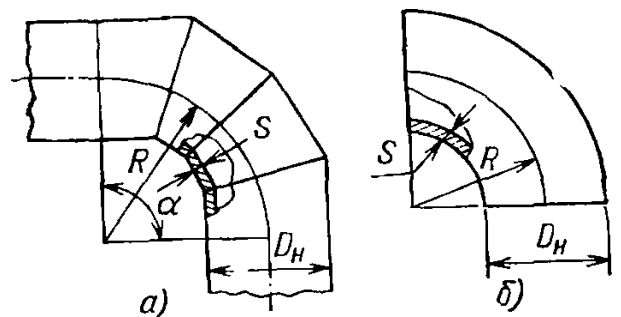


Рис. 10.2. Типы отводов: а — секторный (сварной); б — штампованный

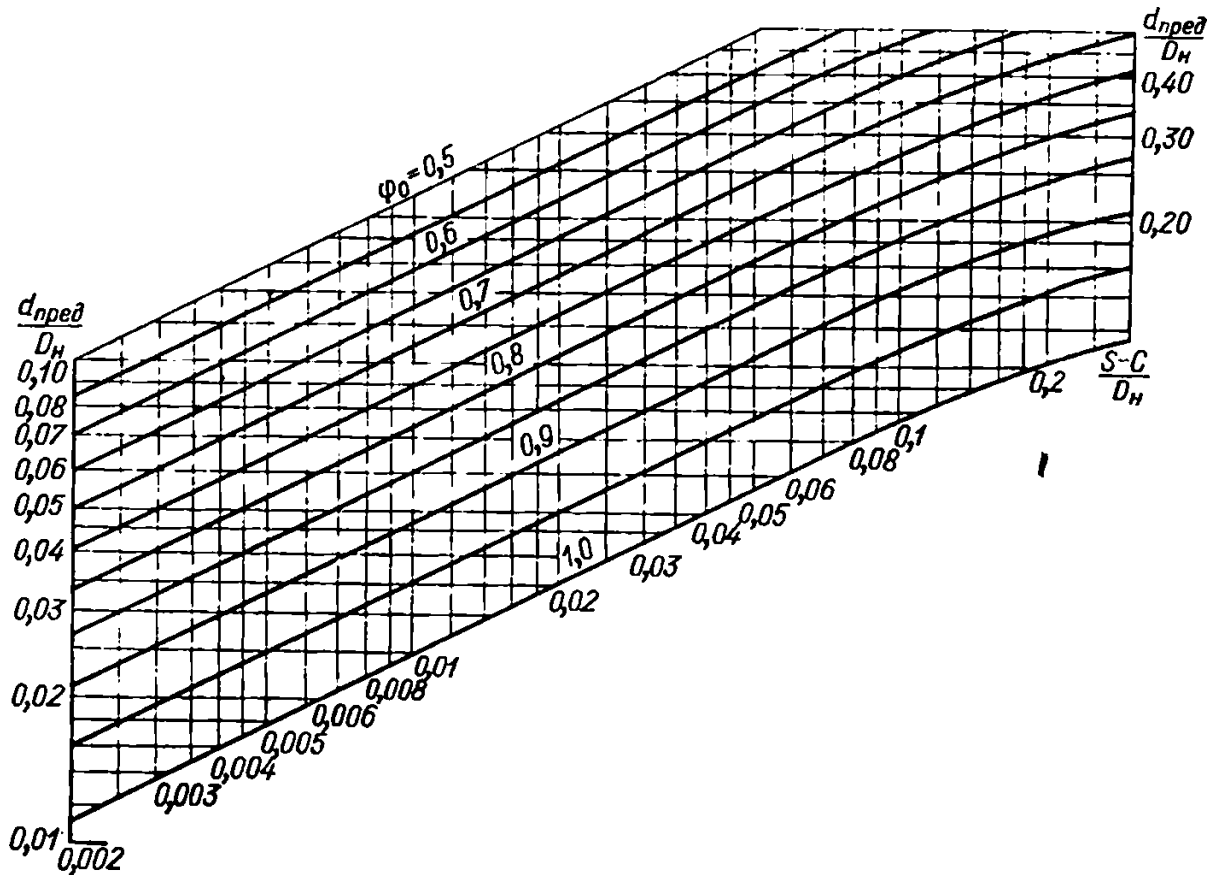


Рис. 10.3. Номограмма для определения наибольшего допустимого диаметра неукрепленного отверстия

## 10.5. РАСЧЕТ ОТВЕТВЛЕНИЙ И ТРОЙНИКОВ

### 10.5.1 НАИБОЛЬШИЙ ДОПУСТИМЫЙ ДИАМЕТР НЕУКРЕПЛЕННОГО ОТВЕРСТИЯ В ТРУБЕ

При врезке трубы в трубу (ответвления и тройники) отверстием под ввариваемую трубу ослабляется сечение трубы, в которую врезается другая труба. Допустимость такого ослабления без специальных мероприятий по усилению ослабленного сечения трубы определяется расчетом.

Неукрепленным считается отверстие, не имеющее усиливающих деталей в виде штуцера с толщиной стенки, превышающей необходимую по расчету на внутреннее давление, или специальной приварной накладки.

Для стационарных трубопроводов номинальным является наружный диаметр их труб, и наибольший допустимый диаметр неукрепленного отверстия в трубе определяется по формуле

$$d_{\text{пред}} = \left( \frac{2}{\varphi_0} - 1,75 \right) \sqrt{(D_{\text{н}} - S)(S - C)},$$

где  $d_{\text{пред}}$  — наибольший допустимый диаметр неукрепленного отверстия в трубе, мм;  $D_{\text{н}}$  — наружный диаметр трубы, мм;  $\varphi_0$  — коэффициент прочности трубы, ослабленной отверстием;  $S$  и  $C$  — соответственно толщина стенки трубы и прибавка к ней, мм, принимаемые по данным § 10.2.

Коэффициент прочности  $\varphi_0$  определяется для труб стационарных трубопроводов по формуле

$$\varphi_0 = \frac{p [D_{\text{н}} - (S - C)]}{200(S - C)[\sigma]}, \quad (10.3)$$

где обозначения соответствуют принятым в § 10.2. Допускается значение  $d_{\text{пред}}$  определять по номограмме на рис. 10.3.

Максимальное значение диаметра отверстия в тройнике или в отводе должно удовлетворять условию

$$\frac{d}{D_{\text{н}} - 2S_0} \leq 0,75,$$

где  $d$  — диаметр отверстия, мм;  $D_{\text{н}}$  — наружный диаметр трубы, мм;  $S_0$  — минимальная расчетная толщина стенки трубы, определяемая по формуле (10.2). Для тройниковых соединений из углеродистой стали трубопроводов 3-й и 4-й категорий (см. табл. 8.1) методика расчета может применяться при  $d/D_{\text{н}} \leq 1,0$ .

Расчетная прочность тройниковых соединений и отводов, у которых отношение  $d/(D_{\text{н}} - 2S_0)$  превышает 0,75, должна быть обоснована [4, с. 50].

### 10.5.2 СПОСОБЫ УКРЕПЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЯ В ТРУБЕ

Если диаметр отверстия в трубе превышает наибольший допустимый диаметр отверстия без укрепления, то эта труба в месте ослабления должна быть усилена.

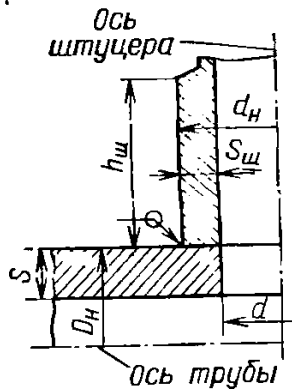


Рис. 10.4. Укрепление отверстия штуцером, испытывающим внутреннее давление

Принцип усиления трубы сводится к тому, что площадь сечения металла, изъятого из трубы при врезке в нее другой трубы, должна быть компенсирована за счет либо увеличения толщины стенки ослабленной трубы, либо введения дополнительного металла в виде усиленного штуцера или накладки или того и другого одновременно.

Приведенная ниже методика расчета укрепления отверстия действительна, если отклонение оси ответвления (штуцера) от перпендикуляра к поверхности трубы не превышает  $15^\circ$ .

Сумма компенсирующих площадей деталей, укрепляющих отверстие, должна удовлетворять условию

$$\Sigma f = f_{ш} + f_{н} + f_{св} \geq (d - d_{\text{пред}}) S_0,$$

где  $f_{ш}$  — компенсирующая площадь штуцера,  $\text{мм}^2$ ;  $f_{н}$  — компенсирующая площадь накладки,  $\text{мм}^2$ ;  $f_{св}$  — компенсирующая площадь наплавленного металла сварных швов,  $\text{мм}^2$ ;  $d$  — диаметр отверстия,  $\text{мм}$ ;  $d_{\text{пред}}$  — наибольший допустимый диаметр неукрепленного отверстия, определяемый по п. 10.5.1,  $\text{мм}$ ;  $S_0$  — минимальная расчетная толщина стенки трубы,  $\text{мм}$ , определяемая по формуле (10.2).

Компенсирующая площадь укрепляющих деталей определяется следующим образом.

Штуцера, испытывающие внутреннее давление (рис. 10.4). Компенсирующая площадь штуцера в этом случае определяется по формуле

$$f_{ш} = 2h_{ш} [(S_{ш} - C) - S_{0ш}],$$

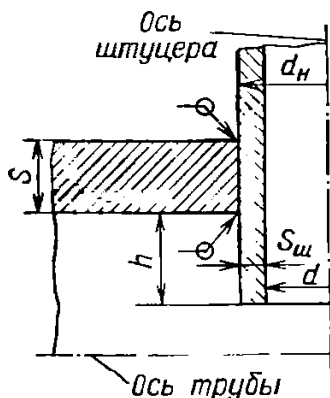


Рис. 10.5. Укрепление отверстия штуцером, сваренным с внутренней стороны и разгруженным от давления. Участок штуцера  $h$  не испытывает давления

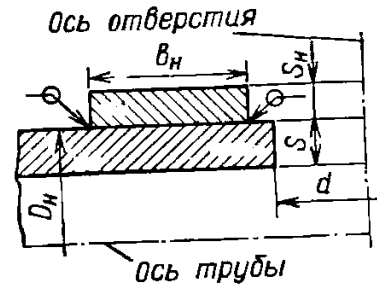


Рис. 10.6. Укрепление отверстия накладкой

где  $h_{ш}$  — высота штуцера,  $\text{мм}$ ;  $S_{ш}$  — номинальная расчетная толщина стенки штуцера,  $\text{мм}$ ;  $S_{0ш}$  — минимальная расчетная толщина стенки штуцера ( $\varphi=1,0$  и  $C=0$ ),  $\text{мм}$ ;  $C$  — прибавка,  $\text{мм}$ . Формулы для определения  $S_{ш}$ ,  $S_{0ш}$  и прибавка  $C$  принимаются аналогично указанным в § 10.2. Для точечных штуцеров  $C=0$ .

Штуцера, сваренные с внутренней стороны трубопровода и разгруженные от давления (рис. 10.5). В этом случае компенсирующая площадь штуцера будет равна

$$f_{ш} = 2h_{ш} S_{ш}.$$

Используемая при расчете высота штуцера  $h_{ш}$  принимается по размерам, указанным на чертеже, но должна быть не более определенной по формуле

$$h_{ш} = \sqrt{(d_n - S_{ш})(S_{ш} - C)} \quad \text{при} \quad \frac{S_{ш}}{d_n} \leq 0,14;$$

$$h_{ш} = 2,5(S_{ш} - C) \quad \text{при} \quad \frac{S_{ш}}{d_n} > 0,14,$$

где  $d_n$  — наружный диаметр штуцера,  $\text{мм}$ .

Накладки (рис. 10.6). Компенсирующая площадь накладки определяется по формуле

$$f_{н} = 2b_n S_n,$$

где  $b_n$  — ширина накладки,  $\text{мм}$ ;  $S_n$  — толщина накладки,  $\text{мм}$ .

Используемая при расчете ширина накладки  $b_n$  принимается равной указанной на чертеже, но не более определенной по формуле

$$b_n = \sqrt{(D_n - S)(S - C)}.$$

Если металл укрепляющего штуцера или накладки обладает меньшей прочностью, чем металл укрепляемой трубы с отверстием, то компенсирующая площадь укрепляющей детали должна быть увеличена пропорционально отношению допускаемого напряжения укрепляемой детали к допускаемому напряжению укрепляющей детали. Более высокая прочность укрепляющей детали в расчете не учитывается.

Сварные швы. Минимальные размеры сечения сварных швов  $\Delta_{\text{мин}}$ ,  $\text{мм}$ , соединяющих приварные штуцера или накладки с трубой, должны удовлетворять следующим условиям:

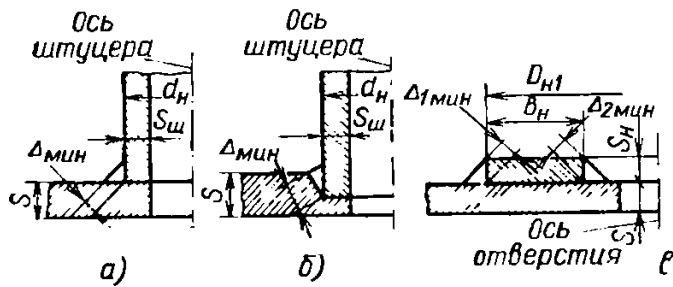


Рис. 10.7. Размеры сварных швов укрепляющих элементов, принимаемые в расчетах:

а и б — для штуцеров; в — для накладок

1) для штуцеров (рис. 10.7, а, б)

$$\Delta_{\text{мин}} \geq 2,1 \frac{h_{\text{ш}} S_{\text{ш}}}{d_{\text{н}}};$$

во всех случаях  $\Delta_{\text{мин}} \geq 0,8 S_{\text{ш}}$ ;

2) для накладок (рис. 10.7, в)

$$\Delta_{1\text{мин}} + \frac{D_{\text{н1}} - 2b_{\text{н}}}{D_{\text{н1}}} \Delta_{2\text{мин}} \geq \frac{2,1 b_{\text{н}} S_{\text{н}}}{D_{\text{н1}}},$$

где  $D_{\text{н1}}$  — наружный диаметр накладки, мм, принимаемый по указанным на чертеже размерам.

Для сварных швов, соединяющих штуцера или накладки с укрепляемой трубой, компенсирующая площадь принимается равной сумме площадей выступающих участков наплавленного металла без учета усиления шва. Компенсирующая площадь сварного шва накладки, удаленного от края отверстия на расстояние, превышающее  $b_{\text{н}} = \sqrt{(D_{\text{н}} - S)(S - C)}$ , в расчете не учитывается.

При одновременном использовании двух штуцеров (наружного и вваренного с внутренней стороны) или двух накладок (наружной и внутренней) компенсирующая площадь их суммируется. Толщину штуцера не рекомендуется принимать больше толщины стенки трубы.

В приведенных выше расчетах размеры усиливающих элементов предполагаются известными. Однако возможны случаи, когда известны только размеры трубы тру-

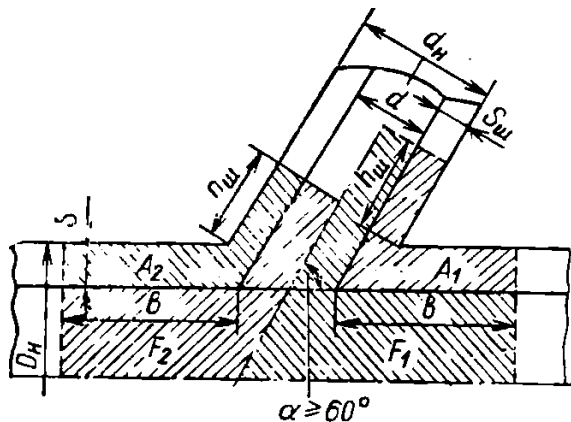


Рис. 10.8. Расчетная схема наклонного отвления или тройника с наклонным штуцером

бопровода или корпуса тройника и диаметр необходимого в них отверстия, тогда необходимая компенсирующая площадь  $\Sigma f$ , мм<sup>2</sup>, может быть определена по формуле [17]

$$\Sigma f \geq \frac{\varphi_0 - \varphi'}{1 - \varphi'} (S - C) d,$$

где  $\varphi_0$  — коэффициент прочности, принимаемый по формуле (10.3);  $\varphi'$  — коэффициент прочности трубы или корпуса тройника с неукрепленным отверстием  $d$ , определяемый по формуле

$$\varphi' = 2 \left/ \left( \frac{d}{\sqrt{(D_{\text{н}} - S)(S - C)}} + 1,75 \right) \right.$$

По полученному значению суммарной компенсирующей площади  $\Sigma f$  выбирают необходимые размеры штуцера или накладки или того и другого вместе, при этом максимальную толщину стенки штуцера или накладки следует выбирать так, чтобы она была равна или незначительно превышала толщину трубы (корпуса тройника).

У тройниковых соединений длина цилиндрической части корпуса должна быть не менее рассчитанной по формуле

$$(d + 2S_{\text{ш}}) + 2 \sqrt{(D_{\text{н}} - S)(S - C)}.$$

Для приближенной оценки прочности соединения отвления с трубой (корпусом тройника) под углом не менее 60° (угол между осью трубы или корпуса тройника и осью отвления) выбранные его размеры должны удовлетворять следующим условиям (рис. 10.8):

$$p \left( \frac{F_1}{A_1} + 0,5 \right) \leq 100 [\sigma];$$

$$p \left( \frac{F_2}{A_2} + 0,5 \right) \leq 100 [\sigma],$$

где  $A_1$  и  $A_2$  — площади сечения металла в наиболее нагруженном сечении, ограниченные по основной трубе размером  $b$  и по отводу высотой  $h_{\text{ш}}$ , мм<sup>2</sup>;  $F_1$  и  $F_2$  — проекции площадей, на которые действует давление  $p$ , кгс/см<sup>2</sup>, также ограниченные по основной трубе размером  $b$  и по отводу высотой  $h_{\text{ш}}$ , мм<sup>2</sup>. Размер  $b$  принимается равным:

$$b = \sqrt{(D_{\text{н}} - S)(S - C)}.$$

Высота отвода  $h_{\text{ш}}$  принимается по п. 10.5.2. Принятая при расчете и проверенная по приведенным выше условиям толщина стенки основной трубы  $S$  должна быть не менее толщины стенки  $S_0$ , определенной по формуле (10.2). Для этого случая рекомендуется допускать напряжение  $[\sigma]$ , кгс/мм<sup>2</sup>, принимать с запасом в 10–15%.

## 10.6. РАСЧЕТЫ ЗАГЛУШЕК

### 10.6.1. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ ПРИВАРНЫХ ЗАГЛУШЕК БЕЗ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ

Толщина приварной заглушки без отверстия или с одним центральным отверстием должна быть не менее определенной по формуле

$$S_1 = \frac{KD_B}{K_0} \sqrt{\frac{p}{100[\sigma]}}$$

где  $S_1$  — толщина заглушки в плоской ее части, мм;  $K$  — коэффициент, характеризующий тип заглушки;  $D_B$  — внутренний диаметр трубы, мм;  $K_0$  — коэффициент, учитывающий ослабление заглушки отверстием;  $p$  — расчетное избыточное давление в трубопроводе, кгс/см<sup>2</sup>;  $[\sigma]$  — номинальное допускаемое напряжение, принимаемое по табл. 3.5, 3.6 или 3.9.

Для типов приварных заглушек, приведенных на рис. 10.9, значения коэффициента  $K$  принимаются следующими:

а при $l \geq \sqrt{(D_B + S)S}$ . . . . .	0,44 $K_1$
То же при $l < \sqrt{(D_B + S)S}$ . . . . .	0,47 $K_1$
б . . . . .	0,47 $K_1$
в . . . . .	0,55 $K_1$
г и д . . . . .	0,53
е . . . . .	0,45

Для заглушек типа приведенной на рис. 10.9,е в формулу для определения  $S_1$  вместо величины  $D_B$  подставляется величина  $D_B - r_B$ , где  $r_B$  — внутренний радиус закругления, мм.

Коэффициент  $K_1$  выбирается по номограмме рис. 10.10, но не менее 0,76. При пользовании указанной номограммой минимальная расчетная толщина стенки трубы  $S_0$ , в которую вваривается заглушка, определяется по формуле (10.2).

Толщина стенки трубы в месте присоединения заглушки должна быть не менее  $S_0$ .

Для заглушек без отверстия коэффициент  $K_0 = 1,0$ ; для заглушек с отверстием он определяется по формулам

$$K_0 = 1 - 0,65 \frac{d}{D_B} \text{ при } \frac{d}{D_B} < 0,35;$$

$$K_0 = 0,77 \text{ при } 0,35 \leq \frac{d}{D_B} \leq 0,75,$$

где  $d$  — диаметр отверстия в заглушке, мм.

Толщина заглушки с двумя отверстиями определяется так же, как и заглушки с одним отверстием, но при этом коэффициент  $K_0$  следует определять для эквива-

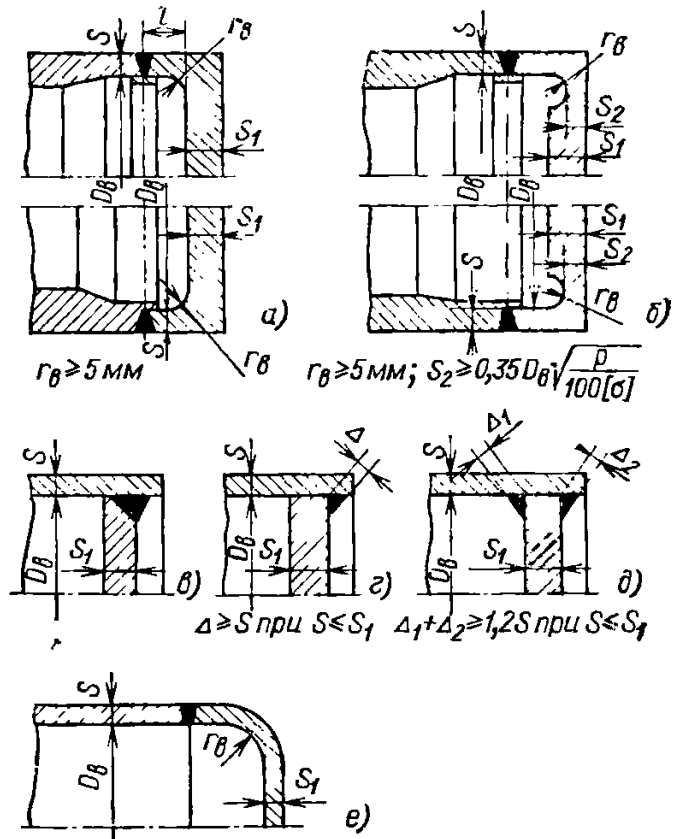


Рис. 10.9. Типы приварных заглушек

лентного диаметра отверстия, равного:

$$d_3 = \sqrt{d_1^2 + d_2^2},$$

где  $d_1$  и  $d_2$  — соответственно диаметры одного и другого отверстий, мм.

Расстояние между кромками двух отверстий в заглушке не должно быть менее полусуммы диаметров этих отверстий.

Разделка штуцера под приварку должна обеспечивать его соединение с плоской заглушкой по всей толщине штуцера. Приварка штуцера односторонним угловым швом без разделки допускается только при его толщине не более 10 мм. Минимальное сечение сварного шва приварки штуцера к заглушке должно быть не менее толщины стенки штуцера.

Применение заглушек из аустенитной стали допускается только при выполнении их по типам, приведенным на рис. 10.9,а и б, с соблюдением условия

$$l > \sqrt{(D_B + S)S}.$$

Если заглушка и труба, к которой она приваривается, имеют разные марки сталей с различными прочностными характеристиками, то в расчет вводится меньшее значение номинального допускаемого напряжения. Во всех случаях толщина заглушки не должна быть меньше толщины  $S_1$ .

Для заглушек, изготавливаемых из листа по типам, приведенным на рис. 10.9,в и г, д и е, вычисленная толщина округляется до ближайшего размера, имеющегося в сортаменте, с учетом допускаемого минусового отклонения на толщину листа.

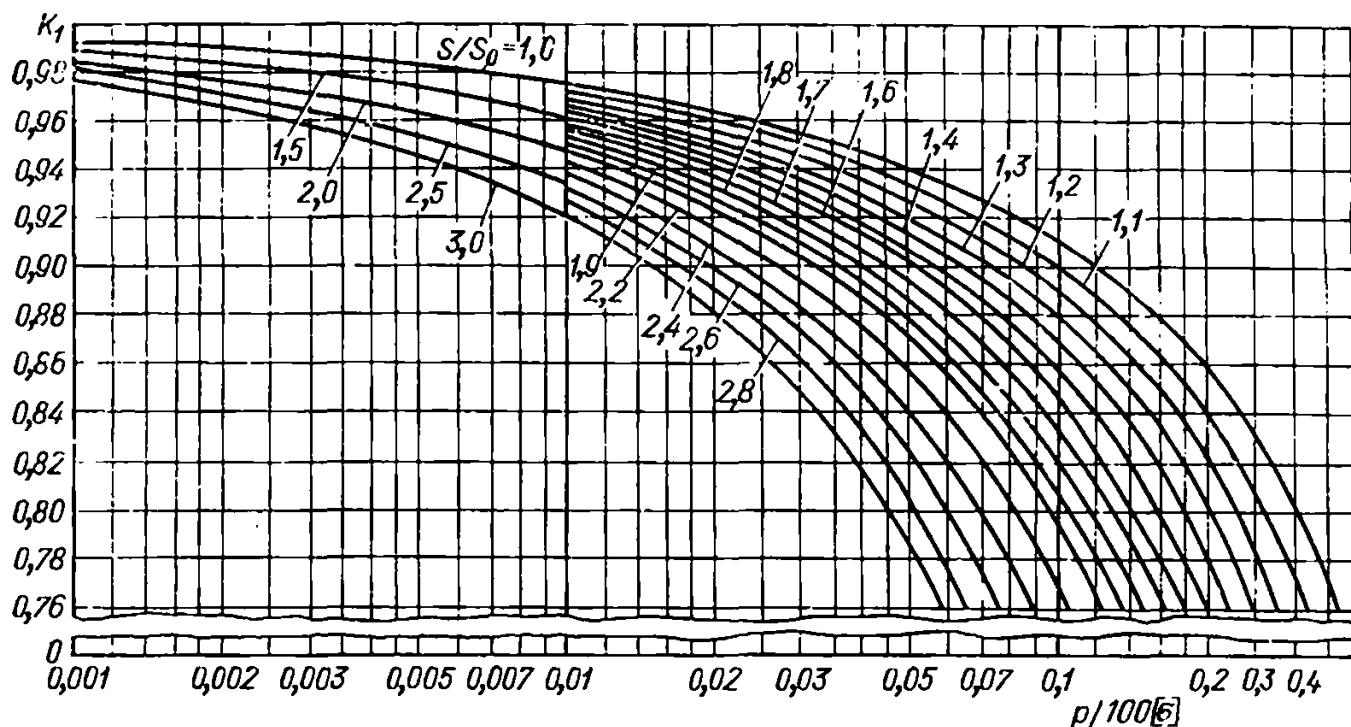


Рис. 10.10. Номограмма для определения коэффициента  $K_1$  при расчете плоских круглых заглушек

Для заглушек типа приведенной на рис. 10.9, б толщина  $S_2$ , мм, в месте кольцевой выточки должна удовлетворять условию

$$S_2 \geq 0,35 D_B \sqrt{\frac{p}{100 [\sigma]}}$$

Размеры радиусов скругления  $r_B$  в заглушках типов приведенных на рис. 10.9, а и б должны быть  $r_B \geq 5$  мм.

Толщина сварных швов для заглушек типа приведенной на рис. 10.9, г должна быть в пределах:

$$\Delta \geq S \text{ при } S \leq S_1;$$

для заглушек типа, приведенного на рис. 10.9, д

$$\Delta_1 + \Delta_2 \geq 1,2S \text{ при } S \leq S_1.$$

#### 10.6.2. РАСЧЕТ ПРИВАРНЫХ ПЛОСКИХ ЗАГЛУШЕК С РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ

Заглушки с ребрами жесткости применяются в случае, когда толщина заглушек сварных без ребер получается чрезмерно большой. Как правило, заглушки с ребра-

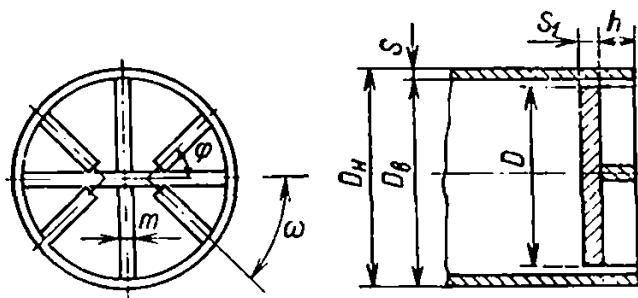


Рис. 10.11. Приварная плоская заглушка с ребрами жесткости

ми жесткости применяются для трубопроводов низкого давления диаметрами больше 400 мм.

Толщина диска заглушки  $S_1$ , мм, в этом случае (рис. 10.11) определяется по формуле

$$S_1 \geq D_B \sqrt{\frac{1,5\beta p}{100 [\sigma]}}$$

где  $S_1$  — толщина диска заглушки, мм;  $D_B$  — внутренний диаметр трубы, мм;  $\beta$  — коэффициент, зависящий от числа ребер жесткости;  $p$  — расчетное избыточное давление в трубопроводе, кгс/см<sup>2</sup>;  $[\sigma]$  — номинальное допускаемое напряжение, принимающееся по табл. 3.9. Значение коэффициента  $\beta$  может быть принятым: при числе ребер жесткости  $Z=12$  ( $\varphi=30^\circ$ )  $\beta=0,015$ , при  $Z=8$  ( $\varphi=45^\circ$ )  $\beta=0,02$ .

Кроме того, размеры заглушки должны проверяться по формуле

$$S_{\text{эф}} = 2 \sqrt{\frac{hmS_1(h+S_1)}{hm + \omega S_1}} \geq \geq 0,41 D_B \left(1 - 0,23 \frac{S}{S_{\text{эф}}}\right) \sqrt{\frac{p}{100 [\sigma]}}$$

где  $S_{\text{эф}}$  — эффективная толщина заглушки в плоской ее части, мм;  $h$  — расстояние от торцевого обреза трубы до заглушки, мм;  $m$  — толщина ребра жесткости, мм;  $\omega$  — длина дуги между ребрами жесткости, мм;  $S_1$  — толщина диска заглушки, мм;  $S$  — номинальная толщина стенки трубы, в которую приваривается заглушка, мм.

### 10.6.3. РАСЧЕТ ФЛАНЦЕВЫХ ЗАГЛУШЕК

Толщина заглушки  $S_1$ , мм, в зависимости от способа соединения ее с фланцами рассчитывается по одной из следующих формул:

для заглушки, зажатой между фланцами,

$$S_1 = 0,41 D_n \sqrt{\frac{p}{100 [\sigma]}}$$

для заглушки, прижатой болтами к фланцу,

$$S_1 = 0,41 D_6 \sqrt{\frac{p}{100 [\sigma]}}$$

где  $D_n$  — наружный диаметр заглушки, мм;  $D_6$  — диаметр окружности центров отверстий для болтов, мм;  $p$  — расчетное избыточное давление в трубопроводе, кгс/см<sup>2</sup>;  $[\sigma]$  — номинальное допускаемое напряжение, кгс/мм<sup>2</sup>, принимаемое по табл. 3.9.

## Раздел одиннадцатый

### ПОЛИЭТИЛЕНОВЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

#### 11.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

На тепловых электростанциях полиэтиленовые трубы нашли свое применение для трубопроводов химводочисток, транспортирующих агрессивные среды, при этом полиэтиленовые трубы применяются для сред с рабочим давлением не выше 10 кгс/см<sup>2</sup> и температурой не более 40°C.

Трубы из полиэтилена устойчивы к коррозии, обеспечивают высокую чистоту транспортируемых ими сред, не подвержены зарастанию загрязнениями, отличаются высокой морозостойкостью (не утрачивают прочности при температуре до минус 60°C) и эластичностью, а при замерзании находящейся внутри них воды не разрушаются.

Ввиду малого модуля упругости и высокой гибкости полиэтиленовые трубы стойки к вибрационным нагрузкам. Эти трубы не нуждаются в окраске.

Однако трубы из полиэтилена очень чувствительны к нагреву и надразам (глубоким царапинам), требуют более частого, чем металлические трубы, крепления, их необходимо защищать от попадания нефтепродуктов, масел, жиров. При облучении солнечными лучами или светом дуги электросварки полиэтилен склонен к старению, что проявляется в его охрупчивании при эксплуатации. Причиной старения (хотя и менее интенсивной) является нагрев полиэтиленовых труб.

Для технологических трубопроводов тепловых электростанций применяются трубы из полиэтилена высокой плотности (ПВП), но возможно также применение труб из полиэтилена низкой плотности (ПНП), которые по технологии своего производства носят иногда соответственно названия полиэтилена низкого давления и полиэтилена высокого давления. Эти трубы должны применяться по ГОСТ 18599-73\* «Трубы напорные из полиэтилена». Однако при выборе к применению тех или иных типоразмеров труб, в особенности на стадии проектирования, необходимо уточнять возможность их поставки в требуемый срок.

Таблица 11.1. Химическая стойкость полиэтилена к различным средам

Среда	Концентрация, %	Химическая стойкость при температуре, °C		
		20	40	
Азотная кислота	6—25	С	С	
	50	УС	НС	
	95	НС	НС	
	Алюминиевый сульфат	—	С	С
		Алюминиевый хлорид	С	С
		Аммиак водный	С	С
		Аммиак газообразный	С	С
		Аммония сульфат	С	С
		Бензин	НС	НС
		Вода обычная	С	С
Вода морская	С	С		
Вода хлорная	УС	—		
	Насыщенный раствор	УС	—	
Водород	—	С	С	
Гашеная известь	—	С	С	
Едкое кали	—	С	С	
Едкий натр (каустик)	40	С	С	
Известковое молоко	—	С	С	
Керосин	—	НС	НС	
Кислород	—	С	С	
Кремниевая кислота	—	С	С	
Лимонная кислота	—	С	С	
Метилацетат	—	НС	НС	
Нитрат аммония	—	С	С	
Нефть	—	НС	НС	
Окись углерода	—	С	С	
Плавиковая кислота	100	С	С	
Рапа (рассол)	—	С	УС	
Серная кислота	30	С	С	
	50	С	С	
	До 96	УС	НС	
Серная кислота дымящая	—	НС	НС	
Сернистый газ	—	С	С	
Соляная кислота	До 10	С	С	
	До 36	С	С	
Углекислота	—	С	С	
Уксусная кислота	До 60	С	С	
	100	УС	НС	
Фосфорная кислота	До 50	С	С	
	90	УС	НС	
Фосфорный ангидрид	—	С	С	
Хлор	100	НС	НС	
Хлорная вода	—	УС	НС	
Хлорная известь	12,5	УС	—	
Хлорид нитрия (поваренная соль)	—	С	С	

Примечание. Условные обозначения: С — стоек, УС — условно стоек, Н — нестойк



Таблица 11.2. Физико-механические свойства полиэтилена

Показатели	Полиэтилен высокой плотности	Полиэтилен низкой плотности
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,94—0,96	0,91—0,93
Предел прочности, кгс/см <sup>2</sup> :		
при растяжении	200—400	100—160
при изгибе	200—380	—
при срезе	200—360	—
Предел текучести при растяжении, кгс/см <sup>2</sup>	200—210	95—100
Относительное удлинение, %:		
при разрыве	230—350	250—350
при растяжении	200—900	150—160
Модуль упругости при изгибе, кгс/см <sup>2</sup>	5000—9030	1000—2500
Твердость по Бринеллю, кгс/мм <sup>2</sup>	4,5—5,8	1,4—2,5
Температура, °С:		
хрупкости	—30	—60
размягчения	Свыше 125	—
плавления	+125—135	+110—120
Теплопроводность, ккал/(м·ч·°С)	0,36	0,30
Температурный коэффициент линейного расширения, мм/(м·°С)	0,2	0,2
Водопоглощение (30 сут при комнатной температуре), %	0,033	0,044
Газопроницаемость (условное число)	5—8	14—20
Горючесть	Горит слабо	—
Удельная теплоемкость, ккал/(кг·°С)	0,43	0,50

Ведутся работы по организации поставки трубопроводов из полиэтилена для стационарных трубопроводов блоками аналогично стальным трубопроводам низкого давления.

Вопросы применения полиэтиленовых труб для водопровода и санитарно-технических нужд в настоящем справочнике не рассматриваются, и в этом случае следует руководствоваться указаниями и материалами Научно-исследовательского института сантехники и других специализированных организаций.

В настоящем разделе рассмотрены только специфические вопросы, обусловленные физико-механическими свойствами полиэтиленовых труб. Следует отметить, что для полиэтиленовых трубопроводов сохраняют силу общие положения и требования к проектам стационарных трубопроводов низкого давления тепловых электростанций.

В табл. 11.1 приведена химическая стойкость полиэтилена к различным средам, а в табл. 11.2 — его физико-механические свойства.

## 11.2. ПОЛИЭТИЛЕНОВЫЕ ТРУБЫ И ИХ СОРТАМЕНТ

Для стационарных трубопроводов применяются полиэтиленовые трубы по ГОСТ 18599-73\*. Они предназначены для напорных трубопроводов, транспортирующих воздух, воду и другие жидкие и газообразные вещества, к которым полиэтилен химически стоек. В зависимости от максимального давления воды при +20°С трубы из полиэтилена как высокой, так и низкой плотности, поставляемые по этому ГОСТ, делятся на следующие типы: Л — легкий тип, рассчитанный на максимальное давление 2,5 кгс/см<sup>2</sup>; СЛ — среднелегкий тип, рассчитанный на максимальное давление 4 кгс/см<sup>2</sup>; С — средний тип, рассчитанный

на максимальное давление 6,0 кгс/см<sup>2</sup>; Т — тяжелый тип, рассчитанный на максимальное давление 10,0 кгс/см<sup>2</sup>.

Все указанные типы труб имеют одинаковые средние наружные диаметры, но разные толщины стенок.

Трубы изготавливаются отрезками номинальной длины 6, 8, 10 и 12 м. Допускается изготовление труб длиной 5,5 и 11,5 м. Трубы диаметром до 63 мм из ПНП и диаметром до 40 мм из ПВХ могут изготавливаться в бухтах. Трубы диаметром до 160 мм включительно длиной не менее 100 м поставляются намотанными на катушки.

Трубы из полиэтилена высокой плотности (низкого давления) изготавливаются из гранулированного полиэтилена по ГОСТ 16338-77 марок 203-03 и 203-18 первого и высшего сорта. Трубы из полиэтилена низкой плотности (высокого давления) изготавливаются из гранулированного полиэтилена по ГОСТ 16337-77\* марок 153-14 и 102-14 также первого и высшего сорта. При изготовлении труб смешивать полиэтилен разных марок не допускается.

Поверхность трубы должна быть ровной и гладкой. Допускаются незначительные следы от формирующего и калибрующего инструмента и незначительная сыпь на наружной поверхности трубы, остающаяся при калибровке от пузырьков воздуха, а также углубления от маркирующего устройства глубиной не более 0,5 мм. На поверхности и по торцу не допускаются трещины, пузыри, раковины и посторонние включения, видимые без применения увеличительных стекол, а также следы холодных спаев и разложения материала. Внешний вид должен соответствовать стандартному образцу, утвержденному в установленном порядке. Концы труб должны быть отрезаны перпендикулярно оси трубы и зачищены от заусенцев.

Трубы должны выдерживать испыта-

Таблица 11.3. Пределы текучести и относительного удлинения труб из полиэтилена высокой и низкой плотности при их испытании на растяжение и разрыв (ГОСТ 18599-73\*)

Вид трубы	Номинальная толщина стенки трубы, мм	Предел текучести при растяжении, кгс/см <sup>2</sup>		Относительное удлинение при разрыве, %	
		средний	минимальный	среднее	минимальное
Из полиэтилена высокой плотности	До 2,5	210	200	350	260
	От 2,7 до 5,1	210	200	280	210
Из полиэтилена низкой плотности	5,2 и более	210	200	210	200
	Все толщины	100	95	300	250

ние на растяжение при скорости перемещения подвижного захвата машины 50 мм/мин для труб из полиэтилена высокой плотности и 100 мм/мин для труб из полиэтилена низкой плотности. Полученные при этих испытаниях показатели должны быть не менее значений, приведенных в табл. 11.3.

Трубы должны выдерживать без признаков разрушения испытания внутренним гидростатическим давлением при нормальной и повышенной температурах при соблюдении условий испытаний, указанных в табл. 11.4.

Таблица 11.4. Условия испытания внутренним гидростатическим давлением труб из полиэтилена высокой и низкой плотности (ГОСТ 18599-73\*)

Вид трубы	Начальное контрольное напряжение в стенке трубы, кгс/см <sup>2</sup>	Температура, °С	Время (не менее), ч
Из полиэтилена высокой плотности	150	20	1
	42	80	44
Из полиэтилена низкой плотности	30	80	170
	70	20	1
	32	70	1
	25	70	100

Трубы поставляются партиями. Партией считается количество труб одного типоразмера (в метрах), изготовленных из одной партии сырья на определенной технологической линии при установившемся технологическом режиме, сдаваемых одновременно и сопровождаемых одним документом о качестве. Размер партии должен быть не более 2000 м для труб диаметром 110 мм и более и 5000 м для труб диаметром 90 мм и менее. Каждая партия труб подвергается испытаниям, при которых определяются внешний вид поверхности, размеры, предел текучести при растяжении и относительное удлинение при разрыве, стойкость к внутреннему гидростатическому давлению при нормальной температуре. Партия труб должна сопровождать

Таблица 11.5. Сортамент труб из полиэтилена высокой плотности по ГОСТ 18599-73\*

Наружный (средний) диаметр трубы D <sub>н</sub> , мм		Толщина стенки, мм, масса трубы т/м											
		Л (2,5 кгс/см <sup>2</sup> )			СЛ (4 кгс/см <sup>2</sup> )			С (6 кгс/см <sup>2</sup> )			Т (10 кгс/см <sup>2</sup> )		
номинальная	предельное отклонение	номинальная	предельное отклонение	масса 1 м, кг	номинальная	предельное отклонение	масса 1 м, кг	номинальная	предельное отклонение	масса 1 м, кг	номинальная	предельное отклонение	масса 1 м, кг
10	+0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4	0,052
12	+0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4	0,065
16	+0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4	0,091
20	+0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4	0,118
25	+0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4	0,170
32	+0,7	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4	0,151	2,3	+0,4	0,170
40	+0,8	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4	0,197	2,9	+0,5	0,282
50	+1,0	—	—	—	—	—	—	2,3	+0,4	0,282	3,5	+0,6	0,434
63	+1,1	2,0	+0,4	0,402	2,0	+0,4	0,316	2,8	+0,5	0,444	4,5	+0,6	0,671
75	+1,3	2,0	+0,4	0,482	2,5	+0,5	0,490	3,6	+0,6	0,693	5,7	+0,8	1,060
90	+1,6	2,2	+0,4	0,632	2,9	+0,5	0,681	4,3	+0,6	0,974	6,8	+0,9	1,500
110	+1,8	2,7	+0,5	0,949	3,5	+0,6	0,973	5,1	+0,7	1,390	8,2	+1,0	2,130
125	+2,1	3,1	+0,5	1,230	4,3	+0,6	1,460	6,2	+0,8	2,080	10,0	+1,2	3,170
140	+2,3	3,5	+0,6	1,540	4,8	+0,7	1,890	7,1	+0,9	2,670	11,4	+1,3	4,100
160	+2,6	3,9	+0,6	2,010	5,4	+0,7	2,320	7,9	+1,0	3,360	12,7	+1,5	5,160
180	+2,7	4,4	+0,6	2,480	6,2	+0,8	3,040	9,1	+1,1	4,360	14,6	+1,7	6,720
200	+2,8	4,9	+0,7	3,070	7,0	+0,9	3,860	10,2	+1,2	5,490	16,4	+1,8	8,460
225	+2,9	5,5	+0,8	3,850	7,7	+1,0	4,720	11,4	+1,3	6,810	18,2	+2,0	10,400
250	+3,0	6,1	+0,8	4,750	8,7	+1,1	5,990	12,8	+1,5	8,600	20,5	+2,2	13,200
280	+3,1	6,9	+0,9	6,010	9,7	+1,2	7,410	14,2	+1,6	10,600	22,8	+2,5	16,300
315	+3,3	7,7	+1,0	7,540	10,8	+1,3	9,220	15,9	+1,8	13,300	25,5	+2,8	20,400
355	+3,4	8,7	+1,1	9,590	12,2	+1,4	11,700	17,9	+2,0	16,800	—	—	—
400	+3,6	9,8	+1,2	12,100	13,7	+1,6	14,800	20,1	+2,2	21,200	—	—	—
450	+3,8	11,0	+1,3	15,300	15,4	+1,7	18,700	22,7	+2,5	27,000	—	—	—
500	+4,0	12,2	+1,4	18,800	17,3	+1,9	23,700	25,5	+2,8	34,000	—	—	—
560	+4,2	13,7	+1,6	23,700	19,3	+2,1	29,200	—	—	—	—	—	—
630	+4,5	15,4	+1,7	29,900	21,6	+2,4	36,700	—	—	—	—	—	—
					24,3	+2,6	46,300	—	—	—	—	—	—

Примечания: 1. В таблице приведена теоретическая масса трубы.

2. Теоретическая масса 1 м трубы вычислена при средней плотности 0,95 г/см<sup>3</sup> с учетом поправки на толщину стенки и средний наружный диаметр.

Таблица 11.5. Сор­тамент труб из полиэтилена низкой плотности по ГОСТ 18599-73\*

Наружный / сред­ний) диаметр трубы $D_H$ , мм		Толщина стенки, мм, масса трубы типа											
		Л (2,5 кгс/см <sup>2</sup> )			СЛ (4 кгс/см <sup>2</sup> )			С (6 кгс/см <sup>2</sup> )			Т (10 кгс/см <sup>2</sup> )		
Номиналь­ный	предель­ное откло­нение	номиналь­ная	предель­ное откло­нение	масса 1 м, кг	номиналь­ная	предель­ное откло­нение	масса 1 м, кг	номиналь­ная	предель­ное откло­нение	масса 1 м, кг	номиналь­ная	предель­ное откло­нение	масса 1 м, кг
10	+0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4	0,050
12	+0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4	0,063
16	+0,4	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4	0,088	2,7	+0,5	0,112
20	+0,5	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4	0,123	3,3	+0,5	0,175
25	+0,6	—	—	—	2,0	+0,4	0,146	2,7	+0,5	0,190	4,2	+0,6	0,270
32	+0,7	2,0	+0,4	0,191	2,4	+0,4	0,223	3,4	+0,5	0,309	5,3	+0,7	0,441
40	+0,8	2,0	+0,4	0,242	3,0	+0,5	0,348	4,3	+0,6	0,475	6,7	+0,9	0,636
50	+1,0	2,4	+0,4	0,351	3,7	+0,6	0,548	5,4	+0,7	0,735	8,3	+1,0	1,070
63	+1,1	3,0	+0,5	0,566	4,7	+0,7	0,853	6,7	+0,9	1,180	10,5	+1,2	1,680
75	+1,3	3,6	+0,6	0,808	5,6	+0,8	1,210	8,0	+1,0	1,663	12,5	+1,4	2,380
90	+1,6	4,3	+0,6	1,140	6,7	+0,9	1,730	9,6	+1,2	2,39	15,0	+1,7	3,430
110	+1,8	5,2	+0,7	1,720	8,1	+1,0	2,570	11,8	+1,4	3,550	18,3	+2,0	5,130
125	+2,1	6,0	+0,8	2,210	9,3	+1,1	3,310	13,4	+1,5	4,570	20,8	+2,3	6,620
140	+2,3	6,7	+0,9	2,770	10,4	+1,2	4,130	—	—	—	—	—	—
160	+2,6	7,7	+1,0	3,630	11,9	+1,4	5,410	—	—	—	—	—	—

Примечания: 1. В таблице приведена теоретическая масса труб.

2. Теоретическая масса 1 м трубы вычислена при средней плотности 0,92 г/см<sup>3</sup> с учетом половины допусков на толщину стенки и средний наружный диаметр.

даться документом, удостоверяющим их качество и содержащим наименование предприятия-изготовителя, номер и дату выдачи документа о качестве, номер партии, условное обозначение, размер партии в килограммах и метрах, результаты испытаний, дату выпуска, обозначение стандарта.

Трубы должны храниться в горизонтальном положении на стеллажах. Высота штабеля не должна превышать 2 м. Условия хранения труб должны исключать возможность их механического повреждения и действия прямых солнечных лучей. При погрузке, транспортировке и разгрузке труб должны приниматься меры, исключающие возможность их механического повреждения, а также деформирования.

Сортамент труб из полиэтилена высокой плотности приведен в табл. 11.5, а из полиэтилена низкой плотности — в табл. 11.6. Пример условного обозначения тру-

бы, изготовленной из полиэтилена высокой плотности наружным диаметром 63 мм, среднелегкого типа (СЛ): труба ПВП 63, СЛ ГОСТ 18599-73\*.

Как указывалось в § 11.1, возможность применения тех или иных диаметров труб того или иного типа по ГОСТ должна для каждого конкретного случая подтверждаться возможностью их поставки и получения.

### 11.3. СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

Соединения полиэтиленовых труб в зависимости от их диаметра и требований к этому соединению выполняются неразъемными и разъемными.

Неразъемные соединения выполняются сваркой встык или сваркой в виде цилиндрического или конического раструба. Типы соединений труб из полиэтилена приведены на рис. 11.1. Сварка этих труб основана на одновременном оплавлении свариваемых поверхностей (торцов труб) специальными нагревательными устройствами и последующем соединении и выдержке их под осевым усилием. В раструб в основном свариваются трубы малых диаметров (до 63 мм), причем сварка в конический раструб более сложна, так как требует механической обработки одного из концов свариваемых труб. Как правило, соединение полиэтиленовых труб осуществляется сваркой встык.

Соединение полиэтиленовых труб с металлическими трубами, оборудованием и арматурой следует осуществлять с помощью разъемного соединения при использовании металлических фланцев (рис. 11.1).

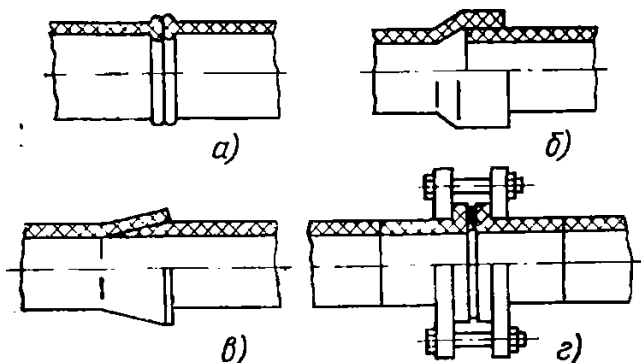


Рис. 11.1. Типы соединений труб из полиэтилена:

а — сварка встык; б — сварка в цилиндрический раструб; в — сварка в конический раструб; з — соединение с помощью металлических фланцев

## 11.4. ВЫБОР ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ НОМИНАЛЬНОГО РАБОЧЕГО ДАВЛЕНИЯ

Диаметр труб полиэтиленовых трубопроводов определяется так же, как и диаметр труб трубопроводов из металлических труб, а именно:

1) определяется предварительный внутренний диаметр трубы в зависимости от расхода и принимаемой скорости движения

среды по формуле

$$D_v = \sqrt{0,354 \frac{Qv}{\omega}},$$

где  $D_v$  — внутренний диаметр трубы, м;  $Q$  — расход транспортируемой трубопроводом среды, т/ч;  $v$  — удельный объем среды, м<sup>3</sup>/кг;  $\omega$  — скорость движения среды, м/с. Вычисленный внутренний диаметр округляется в большую сторону согласно сортаменту выпускаемых труб;

2) выполняется гидравлический расчет трубопровода выбранного диаметра. Если результаты расчета не удовлетворяют заданным условиям, диаметр труб уточняется и производится повторный гидравлический расчет.

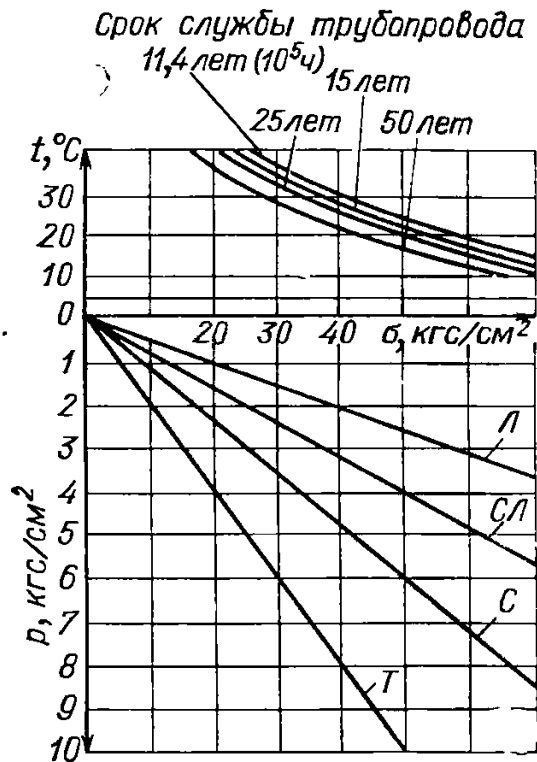


Рис. 11.2. Номограмма для определения допускаемого рабочего давления в трубопроводах из полиэтилена высокой плотности в зависимости от срока службы, типа труб и температуры транспортируемой среды:

Л, СЛ, С и Т — типы труб;  $p$  — допускаемое рабочее давление трубопровода;  $t$  — температура транспортируемой среды;  $\sigma$  — напряжение в трубе

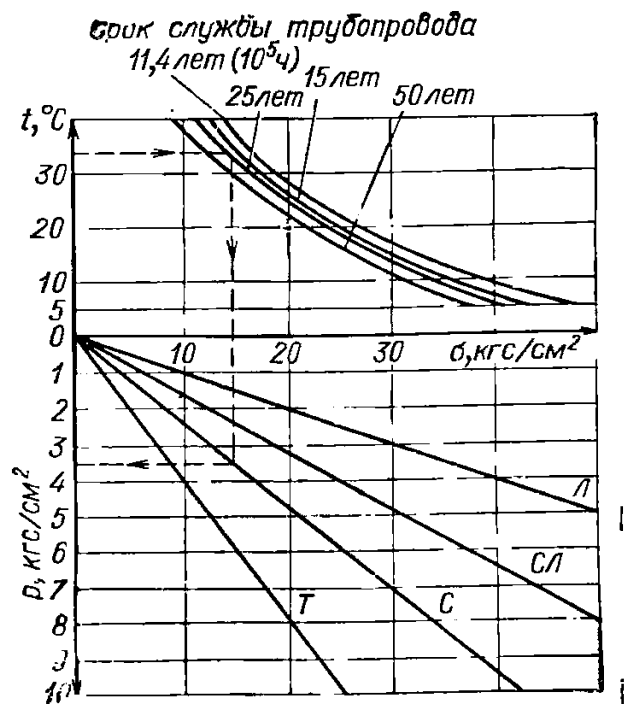


Рис. 11.3. Номограмма для определения допускаемого рабочего давления в трубопроводах из полиэтилена низкой плотности в зависимости от срока службы, типа труб и температуры транспортируемой среды: Л, СЛ, С и Т — типы труб;  $p$  — допускаемое рабочее давление трубопровода;  $t$  — температура транспортируемой среды;  $\sigma$  — напряжение в трубе

Для предварительных расчетов следует принимать скорости движения воды, которые не должны превышать следующих значений: для магистралей и стояков — 2 м/с, для трубопроводов подвода к оборудованию — 4 м/с.

Определение допускаемого рабочего давления в трубопроводах из полиэтиленовых труб в зависимости от срока службы, типа принятых труб и температуры транспортируемой среды производится по номограммам: для труб из полиэтилена высокой плотности по номограмме на рис. 11.2, для труб из полиэтилена низкой плотности по номограмме на рис. 11.3. Срок службы должен приниматься не менее 100 000 ч [23].

## 11.5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Гидравлические расчеты полиэтиленовых трубопроводов могут выполняться аналогично гидравлическим расчетам металлических трубопроводов или в соответствии с [23]. Коэффициент трения  $\lambda$  для полиэтиленовых труб с допустимой точностью может определяться по формуле

$$\lambda = \frac{0,151}{d_p^{0,05} Re^{0,193}},$$

Таблица 11.7. Внутренний диаметр полиэтиленовых труб

Наружный диаметр трубы $D_n$ , мм	Внутренний диаметр ( $d_\phi$ ), мм							
	Трубы из ПВХ				Трубы из ПНП			
	Л	СЛ	С	Т	Л	СЛ	С	Т
16	—	—	—	—	—	—	11,65	10,25
32	—	—	—	—	27,95	27,15	25,05	21,05
63	—	—	—	—	57,05	53,45	41,25	41,35
110	—	—	—	—	104,80	93,70	85,90	72,30
160	—	—	142,00	130,40	144,90	136,10	—	—
225	214,65	207,95	199,35	183,25	—	—	—	—
315	300,25	290,85	278,85	—	—	—	—	—
400	381,00	361,30	353,90	—	—	—	—	—
630	599,75	581,05	—	—	—	—	—	—

где  $d_p$  — расчетный внутренний диаметр трубы:  $d_p = 1,015d_\phi$  м;  $d_\phi$  — внутренний диаметр трубы, определяемый по табл. 11.7, м;  $Re$  — число Рейнольдса:  $Re = \omega d_p / \nu$ ;  $\omega$  — скорость движения среды, м/с;  $\nu$  — кинематическая вязкость транспортируемой среды,  $m^2/c$ .

Коэффициент местных сопротивлений  $\xi$  (арматуры и т. п.) следует принимать по аналогии с металлическими трубопроводами. Если в результате гидравлического расчета необходимое давление в трубопроводе превысит допустимое для принятого типа труб, то следует изменить тип труб и повторно произвести расчет.

Эквивалентная абсолютная шероховатость полиэтиленовых труб принимается равной  $k_a = 0,005$  мм.

### 11.6. КРЕПЛЕНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И КОМПЕНСАЦИЯ ИХ ТЕПЛОВЫХ УДЛИНЕНИЙ

Крепление полиэтиленовых трубопроводов, так же как и металлических, осуществляется с помощью опор и подвесок. В зависимости от своего назначения опоры и подвески для этих трубопроводов могут быть подвижными и неподвижными. Ввиду повышенной (по сравнению с металлическими) эластичности полиэтиленовых трубопроводов при их креплении следует обращать особое внимание на недопустимость их провисания, а также на обеспечение возможности беспрепятственной самокомпенсации их тепловых удлинений.

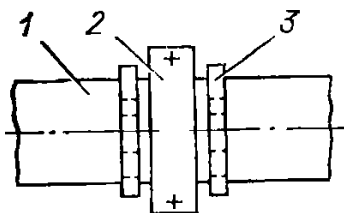


Рис. 11.4. Эскиз выполнения неподвижной опоры:

1 — полиэтиленовая труба; 2 — хомут опоры; 3 — приварное кольцо или сегменты (штриховая линия)

Тепловое удлинение полиэтиленовых трубопроводов определяется по формуле

$$\Delta l = L \alpha \Delta t,$$

где  $\Delta l$  — тепловое удлинение трубопровода, мм;  $L$  — длина трубопровода, м;  $\Delta t$  — перепад температур от начальной (в период монтажа) до конечной (рабочей) температуры,  $^{\circ}C$ ;  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения полиэтилена,  $mm/(m \cdot ^{\circ}C)$  (см. табл. 11.2).

Узлы крепления, соприкасающиеся непосредственно с трубами из полиэтилена, не должны иметь острых кромок и заусенцев. Горизонтальные трубопроводы диаметром до 110 мм следует прокладывать на сплошном основании (лотки на кронштейнах или подвесках) с разрывом в местах установки арматуры. Прокладку трубопроводов диаметром более 110 мм следует осуществлять на отдельных опорах и подвесках. Неподвижные опоры выполняются путем приварки к трубе по обе стороны от хомута опоры ограничительных колец или сегментов, выполненных из полиэтиленовых труб того же типа, что и основная труба. Эскиз выполнения неподвижной опоры приведен на рис. 11.4. Не допускается выполнение неподвижного закрепления в опоре за счет сжатия трубы. Между трубопроводом и конструкцией его крепления (хомут, основание и др.) следует предусматривать прокладку из мягкого материала. Ширина прокладки должна превышать ширину хомута не менее чем на 10 мм. Металлические фасонные детали (при их наличии) и трубопроводная арматура, находящаяся на трубопроводе, должны иметь самостоятельное крепление. Арматура и приборы на полиэтиленовых трубопроводах должны быть жестко укреплены, чтобы их вес и усилия, возникающие при пользовании ими, не передавались на трубопровод. Места соединения арматуры и приборов с полиэтиленовым трубопроводом должны быть разгружены от изгибающих усилий направляющими опорами.

В случае крепления трубопровода на отдельных опорах и подвесках места соединения труб следует располагать на расстоянии не менее 50 мм от места крепления. Нижняя опора на вертикальном тру-

Таблица 11.8. Расстояния между опорами горизонтально проложенных трубопроводов из полиэтилена высокой плотности [23]

Наружный диаметр трубы $D_n$ , мм	Расстояния между опорами, мм, для труб типов при температуре среды, °С											
	Л			СЛ			Л			Т		
	20	30	40	20	30	40	20	30	40	20	30	40
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400	350	300
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	420	400	350
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	500	450	400
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	550	500	450
25	—	—	—	—	—	—	600	550	500	650	550	500
32	—	—	—	—	—	—	650	600	550	750	650	600
40	—	—	—	700	700	600	800	700	600	850	830	700
50	—	—	—	800	750	650	1000	900	830	1000	900	800
63	850	800	700	900	800	700	1150	1050	900	1150	1050	900
75	930	830	750	1100	950	800	1250	1150	1000	1300	1200	1000
90	1000	900	800	1200	1100	900	1400	1250	1100	1500	1350	1200
110	1100	1000	900	1400	1200	1100	1500	1400	1200	1700	1500	1300
125	1300	1150	1000	1500	1300	1200	1600	1500	1300	1800	1700	1450
140	1400	1300	1100	1600	1400	1200	1750	1600	1400	1950	1700	1550
160	1550	1400	1250	1700	1500	1350	1900	1750	1500	2150	1950	1700
180	1600	1500	1300	1850	1650	1400	2000	1900	1600	2300	2100	1850
200	1700	1600	1400	2000	1800	1500	2200	2000	1750	2500	2250	2000
225	1850	1700	1400	2100	1900	1700	2350	2150	1900	2700	2450	2150
250	2000	1800	1600	2300	2100	1800	2500	2200	2000	2900	2600	2300
280	2200	2000	1700	2500	2250	2000	2700	2500	2200	3100	2850	2500
315	2300	2100	1800	2700	2400	2000	2950	2700	2350	—	—	—
355	2500	2300	2000	2900	2600	2300	3200	2900	2550	—	—	—
400	2700	2500	2150	3100	2800	2500	3500	3150	2700	—	—	—
450	2950	2700	2400	3400	3100	2700	3800	3450	3000	—	—	—
500	3100	2850	2500	3650	3300	2900	—	—	—	—	—	—
560	3400	3100	2700	3900	3600	3100	—	—	—	—	—	—
630	3700	3400	2900	4200	3900	3400	—	—	—	—	—	—

Таблица 11.9. Расстояния между опорами горизонтально проложенных трубопроводов из полиэтилена низкой плотности [23]

Наружный диаметр трубы $D_n$ , мм	Расстояния между опорами, мм, для типов труб при температуре среды, °С											
	Л			СЛ			С			Т		
	20	30	40	20	30	40	20	30	40	20	30	40
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	250	200	200
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	300	250	250
16	—	—	—	—	—	—	300	300	300	350	300	300
20	—	—	—	—	—	—	400	350	300	400	350	350
25	—	—	—	400	350	300	400	400	350	450	450	400
32	400	400	400	450	400	350	500	450	400	550	500	450
40	500	450	400	550	500	450	600	550	500	650	600	550
50	550	500	500	650	600	500	700	600	550	750	700	600
63	600	600	550	750	700	600	800	700	650	850	800	700
75	700	650	600	800	750	700	900	800	750	1000	900	800
90	800	700	700	900	850	800	1000	950	850	1100	1000	900
110	900	900	800	1000	1000	900	1150	1100	950	1250	1150	1000
125	1000	950	850	1100	1100	950	1200	1200	1000	1350	1250	1100
140	1100	1000	900	1200	1150	1000	—	—	—	—	—	—
160	1200	1100	1000	1300	1250	1100	—	—	—	—	—	—

оборудовании должна быть подпятникового типа.

Расстояния между опорами горизонтально проложенных трубопроводов из полиэтилена высокой плотности следует принимать по табл. 11.8, то же для трубопроводов из полиэтилена низкой плотности— по табл. 11.9. Расстояния между опорами вертикально проложенных трубопроводов из полиэтилена высокой и низкой плотности должны приниматься по табл. 11.10. Эти таблицы составлены на основании [23].

### 11.7. ПРОКЛАДКА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Полиэтиленовые трубопроводы разрешается применять как для внутренних, так

и для наружных трасс, в том числе в помещениях с различными агрессивными средами, к которым полиэтилен стоек, в условиях повышенной влажности, в грунте (бесканальная прокладка).

Полиэтиленовые трубы не разрешается применять в помещениях, где производятся или хранятся нефтепродукты, бензолы и метилы соединения, разрушающе действующие на полиэтилен, и в условиях тропического климата.

Трубопроводы из полиэтилена, как правило, должны прокладываться открыто. Однако в местах, подверженных прямому солнечному облучению, они должны быть защищены от воздействия солнца. Укладка этих труб в проходных каналах и тоннелях совместно с изолированными горячими трубопроводами допускается лишь при

Таблица 11.10. Расстояния между опорами вертикально проложенных трубопроводов из полиэтилена высокой и низкой плотности [23]

Наружный диаметр трубы $D_n$ , мм	Материал труб и температура среды, °С					
	ПВП			ПНП		
	20	30	40	20	30	40
32	1200	1000	800	1300	1000	900
40	1500	1200	1000	1600	1300	1100
50	1900	1500	1300	2000	1600	1400
63	2600	2000	1800	2700	2200	1900
75	3100	2500	2200	3300	2600	2400
90	3700	3100	2600	3800	3200	2700
110	4700	3800	3300	4800	3900	3400
125	5500	4200	3700	—	—	—
140	6100	5000	4200	—	—	—
160	7000	5700	4800	—	—	—
225	7300	5900	5140	—	—	—
315	10 200	8200	7230	—	—	—
400	13 000	10 600	9200	—	—	—

условии тщательной защиты их от нагрева свыше 30°С, причем полиэтиленовые трубы должны быть уложены ниже горячих труб. Расстояние в свету от полиэтиленовых труб до поверхности изоляции горячих трубопроводов должно быть не менее 200 мм. Укладка полиэтиленовых трубопроводов в непроходных каналах совместно с горячими трубопроводами не допускается.

Полиэтиленовые трубопроводы можно укладывать в траншеях, заполненных водой. В этом случае к трубам должны прикрепляться через каждые 0,5—1,0 м грузила или они должны укрепляться против всплывания другими средствами; при укладке полиэтиленовых трубопроводов в траншее они не должны опираться на камни, кирпичи и другие предметы с острыми кромками.

При прокладке магистралей, стояков и подводов к оборудованию из полиэтиленовых труб следует учитывать следующие положения. В местах прохода через стены и перекрытия полиэтиленовые трубы нужно прокладывать в гильзах с закругленными кромками из металлических, пластмассовых и других труб. Внутренний диаметр этих гильз должен быть на 5—10 мм больше наружного диаметра прокладываемых труб, а их кромки должны на 10—20 мм выступать за перекрытия или стены. Зазоры между полиэтиленовой трубой и гильзой должны уплотняться льняной пряжей, смазанной графитом. Применение для указанной цели олифы и других смазочных средств не допускается.

Соединения трубопроводов необходимо располагать вне проходных гильз в местах, доступных для осмотра.

Вследствие различных коэффициентов теплового расширения бетона и полиэтилена заделка полиэтиленовых трубопроводов в строительные конструкции зданий не разрешается.

При пересечении полиэтиленовых трубопроводов с металлическими огибы следует (там, где это возможно) выполнять на металлических трубопроводах с рас-

стоянием между пересекающимися трубопроводами не менее 50 мм в свету.

При прокладке полиэтиленовых труб в местах, где возможны механические повреждения, их следует прокладывать в защитных коробах или трубах большего диаметра.

Полиэтиленовые трубопроводы должны быть защищены от попадания на них масла, нефтепродуктов и других активных к полиэтилену химических веществ. Окраска труб из полиэтилена масляными красками не допускается.

В случае установки полиэтиленовых труб на напорной стороне насосов напорный трубопровод от фланца насоса до первой задвижки, которой обеспечивается пуск насоса, следует выполнять из металла.

Работа полиэтиленовых трубопроводов при частых и резких колебаниях температуры нежелательна.

При отсутствии полиэтиленовой арматуры для трубопроводов с агрессивными средами следует применять защищенную или другую химически стойкую арматуру.

Расстояния от зданий и сооружений до трубопроводов при их наружной прокладке следует принимать по действующим нормам на прокладку трубопроводов из металла. Расстояние от верха или низа трубы до оконных проемов должно приниматься не менее 0,5 м.

Для обеспечения герметичности фланцевых соединений следует применять мягкие эластичные прокладки. Материал прокладок должен выбираться в соответствии с рабочими параметрами и характером транспортируемой среды.

Сварные стыки, выполняемые на монтаже, должны располагаться в местах, удобных для производства работ.

Нарезка концов полиэтиленовых труб для резьбовых соединений не разрешается.

## 11.8. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Смонтированные полиэтиленовые трубопроводы подвергают гидравлическому испытанию на прочность и плотность. Испытательное давление должно быть в 1,5 раза больше максимального рабочего давления.

Гидравлическое испытание должно производиться при положительной температуре окружающего воздуха. Трубопровод считается выдержавшим испытание, если в течение 30 мин не будет обнаружено течей.

## 11.9. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТУ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Рабочие чертежи полиэтиленовых трубопроводов должны оформляться аналогично чертежам трубопроводов низкого давления из металлических труб, т. е. состоять из монтажно-сборочных или монтажно-

трассировочных чертежей со спецификацией деталей, перечнем опор и подвесок и рабочих чертежей этих опор и подвесок.

Рабочие чертежи полиэтиленовых трубопроводов диаметром менее 80 мм допускаются выполнять в виде монтажных схем с привязкой осей трубопроводов к зданию и оборудованию, размещением опор и подвесок и составлением спецификаций, в которых трубы даются общим метражом,

а поштучно специфицируются лишь арматура и другие детали. В основном поставка полиэтиленовых трубопроводов производится россыпью (см. § 8.1).

Возможность поставки трубопроводов из полиэтиленовых труб в блочном исполнении (см. § 8.1) для каждого конкретного объекта должна быть оговорена до начала разработки рабочих чертежей, так же как и сортамент труб, закладываемый в проект.

## Раздел двенадцатый

### ПРИВОДЫ АРМАТУРЫ СТАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

#### 12.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В зависимости от конструкции арматуры, крутящего момента на ее шпинделе, необходимости автоматического или централизованного управления ею, трубопроводная арматура может приводиться в действие или вручную — маховиком, насаженным на шпиндель арматуры, или дистанционно — с помощью колонкового ручного или электрического привода.

Ручное управление имеют ответственные задвижки и вентили небольших условных проходов с вращающим моментом на их шпинделе не более 50 кгс·м (допустимым по условиям затраты физической силы человека). Дистанционные ручные приводы применяются при установке арматуры в местах, не доступных для непосредственного управления ею.

Электрический привод может быть установлен непосредственно на арматуре или же на специальной отдельно стоящей колонке (колонковый электропривод). Электропривод, конструктивно составляющий одно целое с арматурой и поставляемый с нею, носит название *встроенного электропривода*.

Наличие электрического привода дает возможность осуществлять:

1) дистанционное открытие или закрытие задвижки или вентиля пусковой кнопкой и останов запорного органа арматуры в любом промежуточном положении кнопкой «Стоп». Регулирующая арматура может быть остановлена в любом промежуточном положении между положениями «Открыто» и «Закрыто» на длительное время. Применение операции «Стоп» для использования запорной арматуры в качестве регулирующей запрещается. Останов запорной арматуры в промежуточном положении допускается только для следующих операций — расхаживания запорного органа, проверки исправности электрической части схемы и собственно двигателя, отмены ошибочно начатой операции;

2) автоматический останов запорного органа задвижки или вентиля при дости-

жении им одного из крайних положений «Открыто» или «Закрыто»;

3) дистанционную световую сигнализацию о крайних положениях запорного органа задвижки или вентиля и указание о положении запорного органа арматуры в данный момент;

4) электрическую блокировку данного электропривода с работой других агрегатов и механизмов;

5) автоматический останов электропривода в случае возрастания крутящего момента на шпинделе арматуры сверх регулируемого;

6) автоматическое перемещение рычагов регулирующих клапанов по заданию регуляторов;

7) ручное управление при помощи маховика при неисправности электрической части привода или отсутствии электроэнергии.

#### 12.2. РУЧНОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ АРМАТУРОЙ

Ручное дистанционное управление арматурой осуществляется при помощи ручного колонкового привода, состоящего (в зависимости от принятой схемы) из колонки, шарнирных узлов, коробок перемены направления, компенсатора (в случае необходимости) и соединительных штанг. На рис. 12.1 приведены примеры схем компоновки ручного дистанционного привода к арматуре.

*Колонка* дистанционного ручного управления арматурой состоит из корпуса, шпинделя и маховика, который жестко соединен со шпинделем. Верхний (или нижний — в зависимости от взаимного расположения колонки и управляемой арматуры) конец шпинделя колонки снабжен хвостовиком, на котором с помощью штифта закрепляется шарнирная муфта. В корпусе колонки имеется продольный паз, по которому перемещается указатель положения запорного органа арматуры. Для дистанционного привода задвижки с байпа-



Таблица 12.1. Перечень колонок ручного дистанционного управления арматурой и их характеристики

Обозначение	Допускаемый крутящий момент $M_{кр}$ , кгс-м	Допускаемая частота вращения вала, об/мин	Масса, кг
01 МВН 340-63	16	65	32,20
02 МВН 340-63	25	70	51,82
03 МВН 340-63	63	85	59,63

сом, на котором стоит вентиль, может быть установлена колонка группового привода. Эта колонка имеет на своем корпусе съемную консоль с дополнительным шпинделем и маховиком, которые могут быть использованы для привода вентилей на байпасе. Колонки различаются по своим крутящим моментам. В табл. 12.1 приведен перечень колонок ручного дистанционного управления арматурой с их характеристиками в соответствии с действующими нормами, а в табл. 12.2 — таких же колонок, но группового привода. Во всех случаях, где позволяют условия компоновки арматуры с  $M_{кр}=16$  кгс-м, рекомендуется применять

Таблица 12.2. Перечень колонок группового привода ручного дистанционного управления арматурой и их характеристики

Обозначение	Допускаемый крутящий момент $M_{кр}$ , кгс-м		Допускаемая частота вращения вала, об/мин		Масса, кг
	Колонка приводная	Консоль приводная	Колонка приводная	Консоль приводная	
01 МВП 339-63	16	16	65	65	52,20
02 МВН 339-63	25	16	70	65	71,82
03 МВН 339-63	63	16	85	65	76,63

вместо колонки приводную консоль (МВН 341-63) с креплением ее на стене или колонне здания.

*Шарнирные узлы* служат для сочленения соединительных штанг в местах их излома при ломаной или слишком длинной линии соединения колонки дистанционного привода с управляемой арматурой. В последнем случае они устанавливаются в качестве промежуточной опоры. Шарнирный узел состоит из корпуса и валика с надетыми на его концы шарнирными муфтами. Угол между шарнирным узлом и соединительной штангой не должен превышать  $30^\circ$ . Шарнирные узлы охвачены нормами и различаются по передаваемому ими крутящему моменту. В табл. 12.3 приведены типы шарнирных узлов и их характеристики.

*Коробки перемены направления* применяются для изменения направления соединительных штанг при угле более  $30^\circ$ , т. е. когда не могут быть использованы более простые по конструкции шарнирные узлы. Коробка перемены направления состоит из корпуса с крышкой, внутри которого помещается пара конических зубчатых шестеренок с передаточным числом 1:1. Концы валиков шестерен выведены наружу корпуса, и на них закреплены муфты шарнирные. Коробка перемены направления дает возможность изменять направление соединительных штанг вплоть до угла  $90^\circ$ . Выбор коробки перемены направления в зависимости от крутящего момента осуществляется по табл. 12.3.

*Штанги соединительные* служат для соединения привода арматуры с колонкой дистанционного привода. Для штанг обычно применяются водогазопроводные трубы небольших диаметров. Длина штанг и их прочность (на скручивание) должны обеспечивать передачу крутящего момента, необходимого для полного закрытия (открытия) арматуры. Соединительные штанги должны быть проверены на угол закручивания, который не должен превышать  $3^\circ$ . Необходимый для этого момент инерции (экваториальный) поперечного сечения штанги должен быть не менее

$$I = 0,13 M_{кр} l,$$

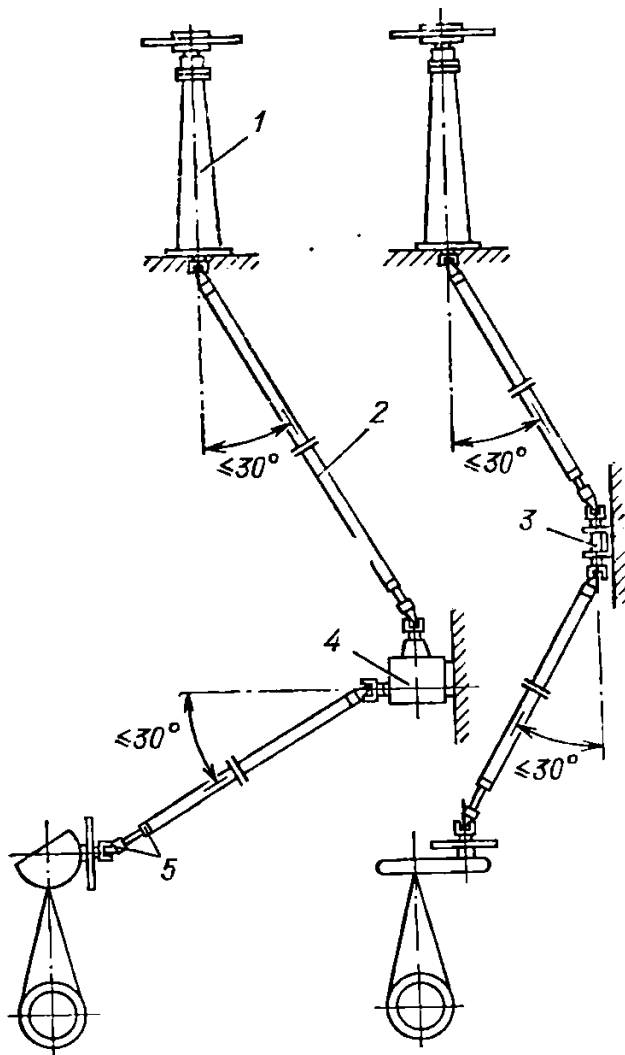


Рис. 12.1. Примеры схем компоновок ручного дистанционного привода к арматуре:

1 — колонка ручного дистанционного управления; 2 — штанга соединительная; 3 — шарнирный узел; 4 — коробка перемены направления; 5 — шарнирная муфта с компенсатором

Таблица 12.3. Отдельные узлы дистанционного управления арматурой с ручными и электроприводными колонками и их характеристики

Обозначение	Допускаемый крутящий момент $M_{кр}$ , кгс·м	Масса, кг
<i>Узлы шарнирные</i>		
01 МВН 397-63	16	3,29
02 МВН 397-63	25	6,75
03 МВН 397-63	63	9,76
01 МВН 1946-61	160	45,10
02 МВН 1946-61	250	60,50
<i>Муфты шарнирные</i>		
01 МВН 351-63	16	0,745
02 МВН 351-63	25	1,212
03 МВН 351-63	63	2,321
01 МВН 1926-61	160	12,600
02 МВН 1926-61	250	18,500
<i>Коробки перемены направления</i>		
01 МВН 388-63	16	9,65
02 МВН 388-63	25	26,50
03 МВН 388-63	63	30,05
01 МВН 1939-61	160	108,00
02 МВН 1939-61	250	123,00
<i>Компенсаторы</i>		
01 МВН 322-63;	16	1,40
01 МВН 2386-65		1,44
02 МВН 332-63;	25	2,02
02 МВН 2386-65		2,04
03 МВН 332-63;	63	4,45
03 МВН 2386-63		4,25
<i>Муфты шарнирные с компенсатором</i>		
1 МВН 1927-61	160	15,1
2 МВН 1927-63	250	22,1

где  $I$  — момент инерции трубы,  $m^4$ ;  $M_{кр}$  — крутящий момент, кгс·м;  $l$  — суммарная длина штанг от колонки дистанционного привода до арматуры, м.

Длина соединительной штанги не должна превышать 5 м.

По нормальям на приводы типоразмеры труб для соединительных штанг принимаются следующими:

Допустимый крутящий момент, кгс·м . . . . .	16	25	63
Трубы по ГОСТ 3262-75* ( $D_H \times S$ ), мм . . . . .	42,3×2,8	48×3	60×3,5

**Компенсирующие устройства.** В тех случаях, когда соединительные штанги имеют тепловое удлинение или когда соединяемые ими точки привода испытывают небольшие взаимные относительные перемещения (например, концы выдвижного шпинделя вентиля), применяют компенсаторы или шарнирные муфты с компенсатором, в которых квадратный хвостик муфты входит в квадратное отверстие втулки с некоторым зазором, обеспечивающим штанге возможность надвигаться или сползать с муфты. Нормализованные компенсаторы выполнены в двух вариантах: по МВН 332-63 и МВН 2386-65. В компенсаторе второго варианта в отличие от первого шпонка закреплена двумя винтами.

Перечень компенсаторов и шарнирных муфт с компенсаторами приведен в табл. 12.3.

## 12.3. ВСТРОЕННЫЕ И КОЛОНКОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ АРМАТУРЫ

Встроенные электроприводы применяются для арматуры, в которой температура протекающей среды не превосходит допустимую температуру для электродвигателя встроенного типа.

Встроенные электродвигатели поставляются комплектно с арматурой, которая выбирается по параметрам среды и условному проходу, и специальных расчетов по их выбору не требуется.

Колонковые электроприводы устанавливаются в случае, когда не может быть установлена арматура с встроенным электроприводом или когда для арматуры с ручным приводом требуется дистанционное или автоматическое управление ею. В основном колонковые электроприводы устанавливаются для запорной арматуры, имеющей приводную головку.

Колонковый электропривод в зависимости от принятой схемы состоит из колонки с размещенным на ней электродвигателем с редуктором и, так же как и колонковый ручной привод, шарнирных узлов, коробок перемены направления, соединительных штанг и, в случае необходимости, компенсаторов.

Кроме колонок с электроприводами для колонковых электроприводов могут использоваться узлы по тем же нормальям, что и для ручных колонковых приводов.

Для выбора колонки с электроприводом необходимо иметь следующие заводские данные по арматуре: максимальный крутящий момент на выходном валу приводной головки арматуры; частоту вращения выходного вала приводной головки арматуры, необходимую для полного открытия (закрытия) арматуры. Следует иметь в виду, что приведенной в заводских табли-

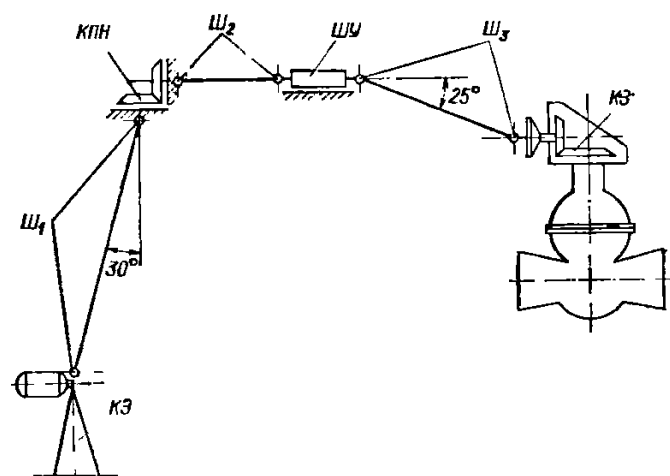


Рис. 12.2. Схема компоновки дистанционного электропривода к задвижке

Таблица 12.4. Коэффициенты полезного действия отдельных узлов дистанционных приводов и приводных головок арматуры

Наименование узла	Обозначение	Значение КПД	Нормаль
Коробка перемены направления	$\eta_{кпн}$	0,83	МВН 388-63
Шарнирный узел при примыкании к нему соединительных штанг по прямой (180°)	$\eta_{ш.у}$	0,96	МВН 1939-61 МВН 397-63 МВН 1946-61
Шарнирная муфта при примыкании к ней соединительных штанг под углами:			
$\alpha=5^\circ$		0,99	МВН 351-63 МВН 1926-61
$\alpha=10^\circ$		0,98	МВН 1926-61
$\alpha=15^\circ$		0,97	МВН 1926-61
$\alpha=20^\circ$		0,94	МВН 1926-61
$\alpha=25^\circ$		0,91	МВН 1926-61
$\alpha=30^\circ$		0,87	МВН 1926-61
Цилиндрическое (или коническое) зацепление приводной головки арматуры	$\eta_{ц.з}(\eta_{к.з})$	0,98	—
Подшипник скольжения в составе приводной головки	$\eta_{п}$	0,95	—

цах характеристикой задвижки « $M_{кр}$  на выходном валу приводной головки» пользоваться нельзя, так как в этом случае  $M_{кр}$  характеризует предельный (из расчета на прочность) момент на валу приводной головки, а не фактически возникающий крутящий момент, который создается при открытии (закрытии) задвижки.

Электропривод к колонковому электроприводу выбирают таким образом, чтобы  $M_{кр}$  на выходном валу приводной головки арматуры с учетом КПД передачи от колонки к арматуре был в диапазоне 60—100% максимального крутящего момента, развимаемого электроприводом.

Если схема привода состоит из нескольких последовательно установленных узлов (например, коробок перемены направления, шарнирных узлов и т. п.), то КПД такой передачи равен произведению КПД составляющих ее узлов.

Коэффициенты полезного действия отдельных узлов дистанционных приводов и приводных головок арматуры приведены в табл. 12.4. Перечень колонковых электроприводов для арматуры стационарных трубопроводов высокого давления, выпускаемых Чеховским заводом энергетического машиностроения, приведен в табл. 12.5.

Таблица 12.5. Электроприводы колонковые

Шифр колонки	Крутящий момент на выходном валу $M_{кр}$ , кгс·м	Частота вращения выходного вала, об/мин	Масса, кг
В-КЭ	15	18	36,0
В-КЭ-50	50	19,2	125,5
В-КЭ-130	130	21,7	171,0
В-КЭ-180	180	19,7	262,0

Для автоматического останова запорного органа арматуры в конечных и промежуточных положениях, а также для сигнализации этих положений электропри-

вод оборудуется путевым выключателем. Поэтому при заказе колонковых электроприводов наряду с номером чертежа или шифра колонки следует указывать также требуемый тип коробки путевых выключателей, который в зависимости от частоты вращения выходного вала приводной головки принимается:

При частоте вращения 1—7 об/мин . . . . . ВП-4-I  
 " 7—35 об/мин . . . . . ВП-4-II  
 " 35—200 об/мин . . . . . ВП-4-III

Пример. Требуется выбрать колонковый электропривод к задвижке типа В-407-к с учетом схемы компоновки дистанционного электропривода, приведенной на рис. 12.2. Схема включает в себя по две шарнирные муфты —  $Ш_1$ ,  $Ш_2$  и  $Ш_3$ , коробку перемены направления КПН и шарнирный узел  $ШУ$ . Полный КПД такой передачи равен произведению КПД составляющих ее узлов:

$$\eta = \eta_{ш1}^2 \eta_{к.п.н} \eta_{ш2}^2 \eta_{ш.у} \eta_{ш.з} = 0,87^2 \cdot 0,93 \cdot 1,0^2 \cdot 0,96 \cdot 0,91^2 = 0,56$$

По данным завода задвижка имеет крутящий момент на шпинделе  $M_{кр}^{шп} = 75$  кгс·м и передаточное число приводной головки  $i=3$ .

Максимальный крутящий момент  $M_{кр}^{вых}$ , кгс·м, на выходном валу приводной головки задвижки с учетом КПД конического зацепления головки КЗ равен:

$$M_{кр}^{вых} = \frac{M_{кр}^{шп}}{i \eta_{кз} \eta_{п}} = \frac{75}{3 \cdot 0,98 \cdot 0,95} = 26,8.$$

Максимальный крутящий момент  $M_{кр}^{прив}$ , кгс·м, на приводном валу колон-

кового электропривода при этом составит:

$$M_{кр}^{прив} = \frac{M_{кр}^{вых}}{\eta} = \frac{26,8}{0,56} = 48.$$

Для полученного значения  $M_{кр}^{прив}$  по табл. 12.5 подбираем колонковый электропривод по значению ближайшего большего крутящего момента — это электропривод типа В-КЭ-50 с максимальным крутящим моментом  $M_{кр} = 50$  кгс·м. Более подробные указания по расчету приводов к арматуре см. в [13].

Определение типа коробки путевых выключателей производится, как указывалось выше, по частоте вращения выходного вала приводной головки для полного открытия или закрытия задвижки. Эта частота вращения может быть указана в заводских данных или определена, для чего необходимо знать ход шпинделя арматуры  $H$ ,

мм, для полного открытия или закрытия, ход резьбы (втулки) шпинделя  $h$ , мм, и передаточное число приводной головки. Тогда частота вращения  $n$ , об/мин, полного открытия (закрытия) равна:

$$n = Hi/h.$$

Пример. Задвижка типа В-407-к имеет  $H = 170$  мм;  $h = 8$  мм;  $i = 3$ . Тогда  $n = 170 \cdot 3 / 8 = 63,75$ . Выбираем коробку путевых выключателей с частотой вращения от 35 до 200 об/мин, т. е. коробку типа ВП-4-III.

Энергетическая арматура с приводной головкой выпускается Чеховским, Барнаульским и Таганрогским заводами энергетического машиностроения. У промышленной трубопроводной арматуры приводная головка отсутствует, т. е. она не имеет приспособления для сочленения с колонковым электроприводом и выпускается либо с ручным приводом, либо со встроенным электроприводом.

**Приложение 1. Некоторые единицы физических величин Международной системы единиц(СИ)**

Наименование величины	Единица измерения		
	Наименование	Обозначение	
		русское	международное
Время	Секунда	с	s
Вязкость динамическая	Паскаль-секунда	Па·с	Pa·s
Вязкость кинематическая	Квадратный метр на секунду	м <sup>2</sup> /с	m <sup>2</sup> /s
Длина, диаметр, ширина, радиус	Метр	м	m
Давление, механическое напряжение (нормальное—σ, касательное—τ)	Паскаль	Па	Pa
Жесткость	Ньютон на метр	Н/м	N/m
Импульс силы	Ньютон-секунда	Н·с	N·s
Температурный коэффициент линейного или объемного расширения	Кельвин в минус первой степени	К <sup>-1</sup>	K <sup>-1</sup>
Коэффициент теплопередачи	Ватт на квадратный метр-кельвин	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Масса, грузоподъемность	Килограмм	кг	kg
Массовая скорость	Килограмм на квадратный метр-секунду	кг/(м <sup>2</sup> ·с)	kg/(s·m <sup>2</sup> )
Момент сопротивления плоской фигуры	Метр в кубе	м <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Момент инерции площади плоской фигуры, осевой	Метр в четвертой степени	м <sup>4</sup>	m <sup>4</sup>
Момент силы, момент изгибающий, момент вращающий, момент пары сил	Ньютон-метр	Н·м	N·m
Модуль продольной упругости (Юнга) и модуль сдвига	Паскаль	Па	Pa
Мощность: механическая, теплового потока, электрическая	Ватт	Вт	W
Напор	Метр	м	m
Объем, вместимость	Кубический метр	м <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Объемный расход	Метр кубический на секунду	м <sup>3</sup> /с	m <sup>3</sup> /s
Площадь	Квадратный метр	м <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Плотность	Килограмм на кубический метр	кг/м <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Податливость (модуль перемещения по силе)	Метр на ньютон	м/Н	m/N
Работа, количество теплоты, энергия: механическая, электрическая	Джоуль	Дж	J
Скорость	Метр в секунду	м/с	m/s
Сила, сила тяжести, вес	Ньютон	Н	N
Температура термодинамическая	Кельвин	К	K
Теплоемкость системы	Джоуль на кельвин	Дж/К	J/K
Теплопроводность, удельная теплопроводность	Ватт на метр-кельвин	Вт/(м·К)	W/(m·K)
Ударная вязкость	Джоуль на метр-квадратный	Дж/м <sup>2</sup>	J/m <sup>2</sup>
Удельная теплоемкость, удельная энтропия	Джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·К)	J/(kg·K)
Удельный вес	Ньютон на метр кубический	Н/м <sup>3</sup>	N/m <sup>3</sup>
Энтальпия (системы)	Джоуль	Дж	J
Энтропия (системы)	Джоуль на кельвин	Дж/К	J/K

**Некоторые множители и приставки для образования десятичных кратных единиц**

Множитель	Наименование	Обозначение	
		международное	русское
10 <sup>9</sup>	гига	G	Г
10 <sup>6</sup>	мега	M	М
10 <sup>3</sup>	кило	k	к

Примечание. Таблица составлена на основании ГОСТ 8.417-81 (СТ СЭВ 1052-78), РТ-50-160-79 и ОСТ 34-9-350-77.

**Приложение 2. Соотношение между некоторыми единицами физических величин систем МКГСС, МГС, внесистемными и системы СИ**

Наименование величины	Единица		Соотношение единиц
	наименование	обозначение	
Давление	Килограмм-сила на квадратный миллиметр	кгс/мм <sup>2</sup>	1 кгс/мм <sup>2</sup> = 0,0009806 МПа ≈ 0,001 МПа

Наименование величины	Единица		Соотношение единиц
	наименование	обозначение	
Давление	Килограмм-сила на квадратный сантиметр	кгс/см <sup>2</sup>	1 кгс/см <sup>2</sup> = 0,98067 бар = 98066,5 Па ≈ 98,066 кПа ≈ 0,09806 МПа = 10 <sup>4</sup> мм вод.ст. = 7,35 · 10 <sup>3</sup> мм рт.ст.
	Килограмм-сила на квадратный метр	кгс/м <sup>2</sup>	1 кгс/м <sup>2</sup> = 9,8066 Па = 9,80365 · 10 <sup>-5</sup> бар
	Миллиметр водяного столба	мм.вод.ст.	1 мм вод.ст. = 9,80665 Па = 9,80365 · 10 <sup>-5</sup> бар = 7,35 · 10 <sup>-2</sup> мм рт.ст. = 10 <sup>-4</sup> кгс/см <sup>2</sup>
	Миллиметр ртутного столба	мм рт.ст.	1 мм рт.ст. = 133,322 Па = 1,332 × 10 <sup>-3</sup> бар = 13,6 мм вод.ст. = 1,36 × 10 <sup>-3</sup> кгс/см <sup>2</sup>
	Бар	бар	1 бар = 10 <sup>5</sup> Па = 0,1 МПа = 10 <sup>6</sup> Н/м <sup>2</sup> = 1,01972 кгс/см <sup>2</sup> = 750,06 мм рт.ст. = 1,01972 · 10 <sup>4</sup> мм вод.ст.
	Паскаль	Па	1 Па = 10 <sup>-5</sup> бар = 0,102 мм вод.ст. = 7,50 · 10 <sup>-3</sup> мм рт.ст. = 1,02 · 10 <sup>-5</sup> кгс/см <sup>2</sup> = 1 Н/м <sup>2</sup>
	Атмосфера физическая Атмосфера техническая	атм ат	1 атм = 101 325 Па = 760 мм рт.ст. 1 ат = 98066,5 Па = 1 кгс/см <sup>2</sup>
Напряжение (механическое)	Килограмм-сила на квадратный миллиметр	кгс/мм <sup>2</sup>	1 кгс/мм <sup>2</sup> = 9,80655 · 10 <sup>6</sup> Па
Сила, вес	Килограмм-сила	кгс	1 кгс = 9,8066 Н ≈ 10 Н; 1Н = 0,102 кгс
Работа, энергия	Килограмм-сила-метр	кгс·м	1 кгс·м = 9,807 Дж = 2,343 кал = 2,343 · 10 <sup>-3</sup> ккал = 2,72 · 10 <sup>-6</sup> кВт·ч
	Джоуль	Дж	1 Дж = 0,102 кгс·м = 0,239 кал = 2,39 · 10 <sup>-4</sup> ккал
	Ватт·час	Вт·ч	1 Вт·ч = 3,6 · 10 <sup>3</sup> Дж
Мощность	Килограмм-сила-метр на секунду	кгс·м/с	1 кгс·м/с = 9,80665 Вт = 2,343 кал/с
	Ватт	Вт	1 Вт = 0,102 кгс·м/с = 0,239 кал/с
	Лошадиная сила	л.с.	1 л.с. = 75 кгс·м/с = 735,499 Вт = 175,5 кал/с
Масса	—	кгс·с <sup>2</sup> /м	1 кгс·с <sup>2</sup> /м = 9,8 кг; 1 кг = 0,102 кгс·с <sup>2</sup> /м
Количество теплоты (энтальпия)	Калория (международная)	кал	1 кал = 4,1868 Дж
	Джоуль	Дж	1 кДж ≈ 0,24 кал
Плоский угол	Градус	°	1° = 1,745329 · 10 <sup>-2</sup> рад
	Радан	рад	1 рад = 57°17'

Примечание. Таблица составлена на основании ГОСТ 8.417-81 (СТ СЭВ 1052-78), РТ-50-160-79 и ОСТ 34-9-350-77.

Приложение 3. Перечень действующих ГОСТ для стационарных трубопроводов по состоянию на 1 января 1983 г.

Номер	Наименование	Срок действия
<i>ГОСТ общего характера</i>		
ГОСТ 2.301-68*	Форматы	Без срока
ГОСТ 2.302-68*	Масштабы	То же
ГОСТ 2.303-68*	Линии	" "
ГОСТ 2.304-81	Шрифты чертежные	" "
ГОСТ 2.305-68**	Изображения—виды, размеры, сечения	" "
ГОСТ 2.306-68*	Обозначения графические материалов и правила их нанесения на чертежах	" "
ГОСТ 2.307-68*	Нанесение размеров и предельные отклонения	" "
ГОСТ 2.309.73*	Обозначения шероховатости поверхностей	" "
ГОСТ 2.310-68*	Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки	" "
ГОСТ 2.311-68	Изображение резьбы	" "
ГОСТ 2.312-72	Условные изображения и обозначения швов сварных соединений	" "
ГОСТ 2.313-63*	Условные изображения и обозначения швов неразъемных соединений	" "
ГОСТ 2.314-68*	Указания на чертежах о маркировании и клеймении изделий	" "
ГОСТ 356-83	Арматура и детали трубопроводов, Давления условные пробные и рабочие	До 01.01.1991 г.

Номер	Наименование	Срок действия
<i>Методы испытаний</i>		
ГОСТ 1497-73*	Металлы. Методы испытания на растяжение	До 01.01.1985 г.
ГОСТ 3248-81	Металлы. Метод испытания на ползучесть	До 01.07.1987 г.
ГОСТ 10145-81	Металлы. Метод испытания на длительную прочность	То же
ГОСТ 9454-78*	Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах	До 01.01.1989 г.
ГОСТ 7268-67*	Сталь. Метод испытания на механическое старение по ударной вязкости	До 01.01.1983 г.
ГОСТ-2999-75*	Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу	До 01.07.1986 г.
ГОСТ 9012-59*	Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бригеллю	До 01.07.1985 г.
ГОСТ 9013-59*	Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Роквеллу	То же
ГОСТ 14019-80	Металлы. Методы технологических испытаний на изгиб	• •
ГОСТ 3728-78*	Трубы. Метод испытания на изгиб	До 01.07.1984 г.
ГОСТ 8693-80	Трубы металлические. Метод испытания на бортование	До 01.07.1985 г.
ГОСТ 8695-75*	Трубы. Метод испытания на сплющивание	До 01.07.1982 г.
ГОСТ 10006-80	Трубы металлические. Методы испытания на растяжение	До 01.07.1985 г.
ГОСТ 8694-75*	Трубы. Метод испытания на раздачу	До 01.07.1987 г.
<i>Стали</i>		
ГОСТ 380-71*	Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки и общие технические требования	Без срока
ГОСТ 1050-74**	Сталь углеродистая качественная конструкционная. Технические условия	До 01.01.1986 г.
ГОСТ 4543-71*	Сталь легированная конструкционная. Марки и технические требования	До 01.01.1983 г.
ГОСТ 5632-72*	Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки и технические требования	До 01.01.1985 г.
ГОСТ 5949-75**	Сталь сортовая калиброванная коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная	До 01.01.1987 г.
ГОСТ 20072-74*	Сталь теплоустойчивая	До 01.01.1986 г.
ГОСТ 14959-79	Сталь рессорно-пружинная углеродистая и легированная. Технические условия	До 01.01.1986 г.
<i>Сталь прокатная</i>		
ГОСТ 8509-72*	Сталь прокатная угловая равнополочная. Сор-тамент	До 01.01.1984 г.
ГОСТ 8510-72*	Сталь прокатная угловая неравнополочная. Сортамент	То же
ГОСТ 8239-72*	Сталь горячекатаная. Балки двутавровые. Сортамент	До 01.07.1985 г.
ГОСТ 8240-72	Сталь горячекатаная. Швеллеры. Сортамент	То же
ГОСТ 2590-71*	Сталь горячекатаная круглая. Сортамент	До 01.01.1984 г.
ГОСТ 2591-71*	Сталь горячекатаная квадратная. Сортамент	То же
ГОСТ 2879-69	Сталь горячекатаная шестигранная. Сортамент	До 01.01.1982 г.
ГОСТ 5520-79	Сталь листовая углеродистая и низколегированная для котлостроения и сосудов, работающих под давлением. Технические требования	До 01.01.1985 г.
ГОСТ 19903-74*	Сталь листовая горячекатаная. Сортамент	До 01.07.1986 г.
ГОСТ 19904-74*	Сталь листовая холоднокатаная. Сортамент	То же
ГОСТ 14637-79	Сталь толстолистовая и широкополосная (универсальная) углеродистая обыкновенного качества. Технические требования	• •
ГОСТ 82-70*	Сталь прокатная широкополосная универсальная. Сортамент	До 01.01.1987 г.
ГОСТ 19281-73	Сталь низколегированная сортовая и фасонного проката. Технические требования	До 01.07.1985 г.
ГОСТ 19282-73	Сталь низколегированная толстолистовая и широкополосная универсальная. Технические требования	То же
ГОСТ 103-76	Полоса стальная горячекатаная. Сортамент	До 01.01.1983 г.
ГОСТ 16523-70*	Сталь листовая углеродистая качественная и обыкновенного качества общего назначения. Технические требования	Без срока
ГОСТ 1577-81*	Прокат листовой и широкополосный универсальный из конструкционной качественной стали. Технические условия	До 01.07.1987 г.
ГОСТ 1542-71*	Сталь листовая легированная конструкционная общего назначения. Сортамент	До 01.07.1985 г.
ГОСТ 5582-75*	Сталь тонколистовая коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические требования	До 01.01.1987 г.
ГОСТ 8568-77*	Листы стальные с ромбическим и чечевицным рифлением. Технические условия	До 01.01.1983 г.

Номер	Наименование	Срок действия
ГОСТ 8706-78*	Листы стальные просечно-вытяжные. Технические условия	До 01.01.1985 г.
<i>Трубы</i>		
ГОСТ 3262-75*	Трубы стальные водогазопроводные	До 01.01.1987 г.
ГОСТ 8731-74*	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Технические требования (трубы общего назначения из углеродистой и легированной стали)	До 01.01.1986 г.
ГОСТ 8732-78	Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент	До 01.01.1984 г.
ГОСТ 8733-74*	Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные и теплодеформированные. Технические требования (трубы общего назначения из углеродистой и легированной стали)	До 01.01.1986 г.
ГОСТ 8734-75*	Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные. Сортамент	До 01.01.1987 г.
ГОСТ 10704-76*	Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент	До 01.01.1983 г.
ГОСТ 20295-74*	Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов	До 01.07.1984 г.
ГОСТ 18599-73*	Трубы напорные из полиэтилена	До 01.01.1985 г.
ГОСТ 8894-77***	Трубы стеклянные и фасонные части к ним	Без срока
ГОСТ 8446-74	Трубки стеклянные для определения уровня жидкостей	До 01.01.1985 г.
<i>Болты, гайки и шайбы</i>		
ГОСТ 1759-70*	Болты, винты, шпильки и гайки. Технические требования	До 01.01.1985 г.
ГОСТ 7798-70*	Болты с шестигранной головкой (нормальной точности). Конструкции и размеры	До 01.01.1986 г.
ГОСТ 5915-70*	Гайки шестигранные (нормальной точности). Конструкции и размеры	То же
ГОСТ 5916-70*	Гайки шестигранные низкие (нормальной точности). Конструкции и размеры	" "
ГОСТ 20700-75*	Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых соединений с температурой среды от 0 до 650°C. Технические требования	" "
ГОСТ 9066-75*	Шпильки для фланцевых соединений с температурой среды от 0 до 650°C.	" "
ГОСТ 9064-75*	Типы и основные размеры Гайки для фланцевых соединений с температурой среды от 0 до 650°C.	" "
ГОСТ 9065-75*	Типы и основные размеры Шайбы для фланцевых соединений с температурой среды от 0 до 650°C.	" "
ГОСТ 18123-72*	Типы и основные размеры	До 01.01.1984 г.
ГОСТ 11371-78	Шайбы. Технические требования	То же
ГОСТ 10906-78	Шайбы. Размеры Шайбы косые	До 01.07.1984 г.
<i>Прочие стандарты</i>		
ГОСТ 14321-73*	Диафрагмы камерные на $p_y$ до 100 кгс/см <sup>2</sup>	До 01.01.1985 г.
ГОСТ 14322-77*	Диафрагмы бескамерные на $p_y$ до 320 кгс/см <sup>2</sup>	До 01.01.1984 г.
ГОСТ 9467-75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы	До 01.01.1984 г.
ГОСТ 10051-75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы	То же
ГОСТ 10052-75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы	" "
ГОСТ 2246-70*	Проволока стальная сварочная. Технические требования	До 01.01.1983 г.
ГОСТ 6996-66*	Сварные соединения. Методы определения механических свойств	Без срока
ГОСТ 16337-77*	Полиэтилен высокого давления. Технические условия	01.01.1984 г.
ГОСТ 16338-77	Полиэтилен низкого давления. Технические условия	То же
ГОСТ 597-73*	Бумага чертежная. Технические условия	01.01.1985 г.
ГОСТ 2850-75	Картон асбестовый	01.01.1987 г.
ГОСТ 15180-70	Прокладки плоские эластичные. Размеры	01.01.1985 г.
ГОСТ 18109-83	Изделия перлитцементные теплоизоляционные. Технические условия	Без срока
ГОСТ 21880-76	Маты минераловатные прошивные. Технические условия	То же
ГОСТ 1779-72	Шнуры асбестовые	01.01.1984 г.
ГОСТ 6788-74	Изделия теплоизоляционные соевелиговые	Без срока
ГОСТ 9573-72*	Плиты и маты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем	То же
ГОСТ 10499-78	Изделия теплоизоляционные из стеклянного штапельного волокна. Технические условия	" "



Приложение 4. Применяемость электроприводов к арматуре, выпускаемой Чехосским заводом энергетического машиностроения

1. Арматура со встроенным электроприводом

Обозначение (№ чертежа)	Арматура				Электропривод			
	М <sub>кр</sub> на штуке шпинделя, кгс-м	Ход затвора, мм	Частота враще- ния, необход.- ная для за- крытия (откры- тия) арматуры, об/мин	Продолжи- тельность хода, с	Обозначе- ние (№ чер- тежа)	М <sub>кр</sub> на вы- ходном валу, кгс-м	Частота вращения выходного вала, об/мин	Исполнение путевых выключате- лей типа ВП-4.
<i>Запорная арматура</i>								
573-20-Э	6	22	4,4	—	821-Э-0	15	18	II
588-20-Э	8	22	4,4	—	821-Э-0	15	18	II
589-20-Э	8	22	4,4	—	821-Э-0	15	18	II
841-40-Э	28	36	6,0	19	792-Э-0	50	19,2	I
839-50-Э	28	36	6,0	19	792-Э-0	50	19,2	I
840-50-Э	28	36	6,0	19	822-Э-0	50	19,2	I
845-65-Э	28	36	6,0	19	792-Э-0	50	19,2	I
838-65-Э	28	36	6,0	19	822-Э-0	50	19,2	I
883-100-Э-02	25	125	20,8	65	792-Э-0	50	19,2	II
890-100-Э-02	30	125	20,8	65	822-Э-0	50	19,2	II
883-100-Э-01	30	125	20,8	65	792-Э-0	50	19,2	II
881-101-Э	95	160	20,0	55	793-Э-0	130	21,6	II
880-101-Э-01	47	125	20,8	65	822-Э-0	50	19,2	II
887-150-Э	25	160	20,0	57	793-Э-0-II	43	20,6	II
885-150-Э	38	160	20,0	57	793-Э-0-II	43	20,6	II
882-150-Э	70	160	20,0	55	823-Э-0	130	21,6	II
881-150-Э	160	180	22,5	74	795-Э-0	180	19,7	II
880-150-Э	95	160	20,0	55	823-Э-0	130	21,6	II
882-175-Э	135	180	22,5	65	825-Э-0-I	180	19,7	II
883-175-Э-01	115	180	22,5	65	795-Э-0-II	140	19,7	II
883-200-Э	160	230	28,8	88	795-Э-0-V	180	19,7	II
881-200-Э	390	245	24,5	—	797-Э-0	400	39,5	II
880-200-Э	175	180	22,5	65	825-Э-0	180	19,7	II
884-200-Э	125	230	28,8	84	795-Э-0 V	130	20,5	II
885-225-Э	110	230	28,8	88	795-Э-0-V	130	20,5	II
882-225-Э	160	230	28,8	81	825-Э-0	180	19,7	II
883-250-Э	125	230	28,8	84	795-Э-0-V	130	20,5	II
880-250-Э-01	160	230	28,8	81	825-Э-0	180	19,7	II
880-250-Э	290	230	23,0	47	797-Э-0	400	39,5	II
883-251-Э	390	245	24,5	39	767-Э-0	400	39,5	II
887-250-Э	400	230	28,8	85	793-Э-0-II	430	21,6	II
882-300-Э	160	230	28,8	80	825-Э-0	180	19,7	II
880-300-Э	390	245	24,5	39	767-Э-0	400	31,5	II
883-300-Э	290	290	29,0	47	797-Э-0	400	39,5	II
884-325-Э	265	300	30,0	47	797-Э-0	400	39,5	II
880-325-ЭЛХМ	720	295	24,5	80	854-Э-0	880	20,0	II
880-350-Э	720	295	24,5	80	854-Э-0	880	20,0	II
850-400-Э	145	430	53,8	85	795-Э-0-II	140	19,7	II
850-450-Э	145	430	53,8	85	795-Э-0-II	140	19,7	II
800-400-ЭА	840	310	25,8	80	854-Э-0	880	20,0	II
847-450-Э	210	430	53,75	—	795-Э-0	180	19,7	II
<i>Регулирующая арматура</i>								
870-20-Э	7,7	24	4,8	—	821-ЭР-0	15	18,0	II
870-50-Э <sup>М</sup>	23,5	44	7,3	—	822-ЭР-0-II	28	19,2	II
851-65-Э	36,0	36	6,0	—	822-ЭР-0	50	19,2	II
868-65-Э <sup>М</sup>	15	44	7,4	—	822-ЭР-0-II	28	19,2	II
808-100-Э	12,5	72	12,0	19	792-ЭР-0-I	50	38,2	II
811-100-Э	17,0	72	12,0	19	792-ЭР-0-I	50	38,2	II
868-100-Э <sup>М-01</sup>	12,0	72	11,6	40	822-ЭР-0	50	19,2	II
868-100-Э <sup>М-02</sup>	17,0	72	12,0	19	792-ЭР-0-I	50	38,2	II
870-100-Э <sup>М</sup>	18	72	12,0	40	822-ЭР-0	50	19,2	II
679-100-Э	40	135	22,5	—	792-ЭР-0-I	65	43,3	II
950-100/150-Э	111	40	8,0	14	794-ЭР-0 <sup>а</sup>	130	21,6	II
947-100-Э	40	135	22,5	—	793-ЭР-0-I	65	43,3	II
947-100-Э-02	40	98	16,3	—	793-ЭР-0-I	65	43,3	II
947-100-Э-03	40	84	14,0	—	793-ЭР-0-I	65	43,3	II
677-100-0 <sup>а</sup>	40	135	22,5	—	824-КЭ-0-02	130	21,6	II
951-100-Э	24	105	17,5	—	792-ЭР-0	50	19,2	II
808-150-Э	20	72	12,0	19	792-ЭР-0-I	50	38,2	II
870-150-Э <sup>М</sup>	23	109	12,5	41	823-ЭР-0-IV	70	20,6	II
950-150/250-Э	200	75	7,5	23	876-Э-0-02	210	20,0	КДУ
950-150/250-Э-01	200	75	7,5	11	876-Э-0	250	41,0	КДУ
807-175-Э	14	110	18,3	60	822-ЭР-0	50	19,2	II
919-175-Э	83	140	17,5	50	793-ЭР-0	130	21,6	II
919-175-Э-01	83	150	18,75	50	793-ЭР-0	130	21,6	II
811-175-Э	29	72	12,0	19	792-ЭР-0-I	50	38,2	II
870-200-Э <sup>М</sup>	24	100	12,5	40	823-ЭР-0-IV	70	20,6	II
808-225-Э	23,6	86	14,3	23	792-ЭР-0-I	50	38,2	II
868-225-Э <sup>М</sup>	16	100	16,6	40	823-ЭР-0-III	43	20,6	II

Арматура					Электропривод			
Обозначение (№ чертежа)	$M_{кр}$ на штулке шпинделя, кгс·м	Ход затвора, мм	Частота вра- щения, необхо- димая для (за- крытия (откры- тия) арматуры, об/мин	Продолжи- тельность хода, с	Обозначе- ние (№ чер- тежа)	$M_{кр}$ на вы- ходном валу, кгс·м	Частота вращения выходного вала, об/мин	Исполнение путевых выключате- лей типа ВП-4
916-250-Э	24,4	180	22,5	70	824-ЭР-0-1	70	20,6	II
914-250-Э	58	170	20,0	70	824-ЭР-0-1	73	20,6	II
870-300-Э	36	180	22,5	70	824-ЭР-0-1	70	20,6	II
533-350-Э	51	260	10,8	15	793-ЭР-0-1	65	43,3	II
870-350-Э	85	200	20,0	58	825-ЭР-0-1	130	20,6	II
675-100-0В	40	110	22,5	60	824-КЭ-0-02	130	21,6	II

## 2. Загорная арматура с колонковым электроприводом

Арматура			Приводная головка				Электропривод			
Обозначение (№ чертежа)	$M_{кр}$ на штулке шпинделя, кгс·м	Ход затвора, мм	№ чертежа	$M_{кр}$ на выходном валу, об/мин	Передающее число	Частота вращения, необходи- мая для закрытия (открытия) арматуры, об/мин	Обозначе- ние (№ чер- тежа)	$M_{кр}$ на выходном валу, кгс·м	Частота вращения выходного вала, об/мин	Исполнение путе- вых выключателей типа ВП-4
573-20-Г	6	—	—	—	—	4,4	821-КЭ-0	15	18	II
573-20-Г	8	22	—	—	—	4,4				II
589-20-Г	8	22	—	—	—	4,4				II
841-40-0	28	36	—	—	—	6,0	822-КЭ-0	50	19,2	I
841-40-ЦЗ	28	36	852-ЦЗ-0 <sup>а</sup>	36	2	12,0				II
839-50-0	28	36	—	—	—	6,0				I
839-50-ЦЗ	28	36	852-ЦЗ-0 <sup>а</sup>	36	2	12,0				II
840-50-0	28	36	—	—	—	6,0				I
840-50-ЦЗ	28	36	852-ЦЗ-0 <sup>а</sup>	36	2	12,0				II
845-65-0	28	36	—	—	—	6,0				I
838-65-0	28	36	—	—	—	6,0				I
838-65-ЦЗ	28	36	852-ЦЗ-0 <sup>а</sup>	33	2	12,0				II
883-100-М-02	25	125	—	—	—	21				II
883-100-ЦЗ, КЗ-02	25	125	852-ЦЗ-0 <sup>а</sup> 356-КЗ-0	36	2	42				III
880-100-М-02	30	125	—	—	—	21				II
880-100-ЦЗ, КЗ-02	30	125	356-КЗ-0	36	2	41				III
883-100-М-01	30	125	—	—	—	21				II
883-100-ЦЗ, КЗ-01	30	125	356-КЗ-0	36	2	42				III
880-100-ЦЗ, КЗ-01	47	125	852-ЦЗ,0 <sup>а</sup> 356-КЗ-0	36	2	42				III
881-100-ЦЗ, КЗ	35	160	—	—	—	—				III
887-150-ЦЗ	25	180	235-ЦЗ, КЗ-0	65	3	58				III
885-125-ЦЗ, КЗ	45	160	—	—	—	—				III
885-150-ЦЗ, КЗ	38	160	—	—	—	—				III
882-150-ЦЗ, КЗ	70	160	—	—	—	—				III
881-150-ЦЗ, КЗ	160	180	359-ЦЗ, КЗ-01	180	—	68	824-КЭ-0	130	21,7	III
880-150-ЦЗ, КЗ	95	155	235-ЦЗ, КЗ-0	65	—	58	822-КЭ-0	50	19,2	III
886-150-М	16	125	—	—	—	21				III
886-150-ЦЗ, КЗ	16	125	852-ЦЗ-0 <sup>а</sup> 356-КЗ-0	36	2	42				III
883-175-ЦЗ, КЗ-02	85	180	—	—	—	—				III
882-175-ЦЗ, КЗ	135	180	359-ЦЗ, КЗ-0	180	3	67				III
883-175-ЦЗ, КЗ-01	115	180	—	—	—	67				III
883-200-ЦЗ, КЗ-01	150	230	—	—	—	86	824-КЭ-0	130	21,7	III
880-200-ЦЗ, КЗ	175	180	—	—	—	67				III
885-225-ЦЗ, КЗ	110	230	—	—	—	86	822-КЭ-0	50	19,2	III
881-200-ЦЗ	390	245	451-ЦЗ, КЗ-0	455	—	73	825-КЭ-0	180	19,7	III
882-225-ЦЗ, КЗ	160	230	359-ЦЗ, КЗ-0	180	—	86	824-КЭ-0	130	21,7	III

Арматура			Приводная головка				Электропривод			
Обозначение (№ чертежа)	M <sub>кр</sub> на втулке шпинделя, кгс·м	Ход затвора	№ чертежа	M <sub>кр</sub> на выходном валу, об/мин	Передаточное число	Частота вращения, необходи- мая для закрытия (открытия) арматуры, об/мин	Обозначе- ние (№ чертежа)	M <sub>кр</sub> на выходном валу, кгс·м	Частота вращения выходного вала, об/мин	Исполнение путе- вых выключателей типа БП-4
882-250-ЦЗ, КЗ	160	230	359-ЦЗ, КЗ-0	180	3	86	824-КЭ-0	130	21,7	III
883-250-ЦЗ, КЗ-02	200	230	451-ЦЗ, КЗ-0	455		86				
883-250-ЦЗ, КЗ-01	290	230				86				
880-250-ЦЗ, КЗ	390	245				73	825-КЭ-0	180	19,7	III
887-250-ЦЗ, КЗ	40	230	235-ЦЗ, КЗ-0	65		86	822-КЭ-0	50	19,2	III
886-250-М	60	—	—	—		—	824-КЭ-0	130	21,7	III
886-250-ЦЗ, КЗ	60	235	235-ЦЗ, КЗ-0	65		92	822-КЭ-0	50	19,2	IIГ
882-300-ЦЗ, КЗ	160	230	359-ЦЗ, КЗ-0	180		86	824-КЭ-0	130	21,7	III
880-300-ЦЗ, КЗ	390	245	451-ЦЗ, КЗ-0	455		73	825-КЭ-0	180	19,7	III
883-300-ЦЗ, КЗ	290	290				87	824-КЭ-0	130	21,7	III
850-400-ЦЗ	145	430	359-ЦЗ, КЗ-0	180		161				III
850-450-ЦЗ	145	430				161				III

Примечания: 1. В связи с заменой заводом некоторых типов регулирующих клапанов на новые в каждом конкретном случае следует обращаться на завод.

2. Приложение составлено на основании, таблицы применимости электроприводов к арматуре ЦЗЭМ в 1979—1980 гг., ТУ 108-984-80 и ТУ 108-1016-81 и каталога „Арматура энергетическая для ТЭС и АЭС“ 1981 г.

Приложение 5. Характеристики электроприводов „Тулэлектропривод“ с односторонней муфтой ограничения крутящего момента для дистанционного и местного управления трубопроводной запорной арматурой

Тип электропривода	Исполнение	Максимальный крутящий момент, кгс·м	Частота вращения приводного вала, об/мин	Мощность электродвигателя, кВт	Передаточное число		Направление вращения приводного вала на закрытие	№ чертежа
					от приводного вала к электродвигателю	от приводного вала к маховику		
<i>Общепромышленное (нормальное) исполнение</i>								
Б	I	12	60	0,6	21	21	Правое	Б.099.059
	II	21	60	1,3	21	21		Б.099.059
В	I	45	48	2,0	25,5	25,5	"	Б.099.054
	II	80	50	3,2	25,5	25,5		Б.099.054
Г	I	140	47	5,2	27,5	27,5	"	Б.099.053
	II	225	47	7,5	27,5	27,5		Б.099.053
Д	I	450	12	5,2	110	110	"	Б.099.060
	II	750	12	7,5	110	110		Б.099.060
<i>Взрывозащищенное исполнение</i>								
ЭПВ-10-Г	II	9	51	0,4	27	27	Правое	ЭПВ-10-Г
	III	14	51	0,6	27	27		ЭПВ-10-Г
ЭВ-25М	I	15	65	1,0	21	21	"	ЭВ-25М
	II	30	64	1,5	21	21		ЭВ-25М
ЭВ-80	I	60	53	3,0	25,5	25,5	"	ЭВ-80
	II	80	53	4,0	25,5	25,5		ЭВ-80
ЭВП-150-Г	I	190	25	5,0	55	55	"	ЭПВ-150-Г
ЭПВ-250-Г	I	250	25	5,5	55	55		ЭПВ-250-Г
ЭПВ-500-Г	I	558	6	4,0	220	220	"	ЭПВ-500-Г
ЭПВ-850-Г	I	820	6	5,5	220	220		ЭПВ-850-Г
ЭПВ-1000-Г	I	1000	12	10,0	118	59	"	ЭПВ-1000-Г

Примечания: 1. Род тока электродвигателей — переменный, трехфазный, с частотой 50 Гц. Длительный режим работы допускается при нагрузке не более 50% максимальной.

2. Электроприводы с частотой тока электродвигателей 60 Гц и взрывозащищенные с напряжением 220 В изготавливаются по особому заказу.

3. Исполнение электродвигателя по монтажу — М300.

4. Электроприводы выпускаются в исполнении У (для умеренного климата) и Т (для тропического климата) категории 2.

5. В таблице указаны ориентировочные значения мощности электродвигателя. Фактические данные и тип электродвигателя указаны в техническом паспорте изделия.

# ***СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ***

## **Автоматизированные системы (АС)**

### **Основы систем автоматизированного проектирования**

#### **Понятие системы автоматизированного проектирования**

**Система автоматизированного проектирования, САПР, CAD** - автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности. Также для обозначения подобных систем широко используется аббревиатура САПР (система автоматизации проектных работ). Такая расшифровка точнее соответствует аббревиатуре. Для перевода САПР на английский язык зачастую используется аббревиатура CAD (англ. computer-aided design), подразумевающая использование компьютерных технологий в проектировании. Однако в ГОСТ 15971-90 это словосочетание приводится как стандартизированный англоязычный эквивалент термина "автоматизированное проектирование". Понятие CAD не является полным эквивалентом САПР, как организационно-технической системы. Термин САПР на английский язык может также переводиться как CAD system, automated design system, CAE system.

САПР - это не системы автоматического проектирования. Понятие "автоматический" подразумевает самостоятельную работу системы без участия человека. В САПР часть функций выполняет человек, а автоматическими являются только отдельные проектные операции и процедуры. Слово "автоматизированный", по сравнению со словом "автоматический", подчёркивает участие человека в процессе.

В ряде зарубежных источников устанавливается определённая соподчиненность понятий CAD, CAE, CAM. Термин CAE (computer-aided engineering) определяется как наиболее общее понятие, включающее любое использование компьютерных технологий в инженерной деятельности, включая CAD и CAM (computer-aided manufacturing). Для обозначений всего спектра различных технологий автоматизации с помощью компьютера, в том числе средств САПР, используется термин CAx (англ. computer-aided technologies).

#### **Цели создания и задачи САПР**

В рамках жизненного цикла промышленных изделий САПР решает задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства. Основная цель создания САПР — повышение эффективности труда инженеров, включая:

- сокращения трудоёмкости проектирования и планирования;
- сокращения сроков проектирования;
- сокращения себестоимости проектирования и изготовления,

уменьшение затрат на эксплуатацию;

- повышения качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
  - сокращения затрат на натурное моделирование и испытания.
- Достижение этих целей обеспечивается путем:
- автоматизации оформления документации;
  - информационной поддержки и автоматизации процесса принятия решений;
  - использования технологий параллельного проектирования;
  - унификации проектных решений и процессов проектирования;
  - повторного использования проектных решений, данных и наработок;
  - стратегического проектирования;
  - замены натуральных испытаний и макетирования математическим моделированием;
  - повышения качества управления проектированием;
  - применения методов вариантного проектирования и оптимизации.

### **Структура САПР**

В соответствии с ГОСТ, в структуре САПР выделяют следующие элементы: КСАП САПР — комплекс средств автоматизации проектирования САПР, подсистемы САПР, как элемент структуры САПР, возникают при эксплуатации пользователями КСАП подсистем САПР.

КСАП-подсистемы САПР — совокупность ПМК, ПТК и отдельных компонентов обеспечения САПР, не вошедших в программные комплексы, объединённая общей для подсистемы функцией.

ПТК — программно-технические комплексы компоненты обеспечения ПТК САПР

ПМК — программно-методические комплексы компоненты обеспечения ПМК САПР

компоненты обеспечения САПР, не вошедшие в ПМК и ПТК

Совокупность КСАП различных подсистем формируют КСАП всей САПР в целом.

### **Подсистемы САПР**

По ГОСТ 23501.101-87, составными структурными частями САПР являются подсистемы, обладающие всеми свойствами систем и создаваемые как самостоятельные системы. Каждая подсистема — это выделенная по некоторым признакам часть САПР, обеспечивающая выполнение некоторых функционально-законченных последовательностей проектных задач с получением соответствующих проектных решений и проектных документов. По назначению подсистемы САПР разделяют на два вида: проектирующие и обслуживающие.

Обслуживающие подсистемы — объектно-независимые подсистемы, реализующие функции, общие для подсистем или САПР в целом: обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, оформление,

передачу и вывод данных, сопровождение программного обеспечения и т. п., их совокупность называют системной средой (или оболочкой) САПР.

Проектирующие подсистемы — объектно-ориентированные подсистемы, реализующие определенный этап проектирования или группу связанных проектных задач. В зависимости от отношения к объекту проектирования, делятся на:

Объектные — выполняющие проектные процедуры и операции, непосредственно связанные с конкретным типом объектов проектирования.

Инвариантные — выполняющие унифицированные проектные процедуры и операции, имеющие смысл для многих типов объектов проектирования.

Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

Типичными обслуживающими подсистемами являются:

- подсистемы управления проектными данными
- обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР
- подсистемы графического ввода-вывода
- система управления базами данных (СУБД).

### **Компоненты и обеспечение**

Каждая подсистема, в свою очередь состоит из компонентов, обеспечивающих функционирование подсистемы.

Компонент выполняет определенную функцию в подсистеме и представляет собой наименьший (неделимый) самостоятельно разрабатываемый или покупной элемент САПР (программа, файл модели транзистора, графический дисплей, инструкция и т. п.).

Совокупность однотипных компонентов образует средство обеспечения САПР. Выделяют следующие виды обеспечения САПР:

Техническое обеспечение (ТО) — совокупность связанных и взаимодействующих технических средств (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое оборудование, линии связи, измерительные средства).

Математическое обеспечение (МО), объединяющее математические методы, модели и алгоритмы, используемые для решения задач автоматизированного проектирования. По назначению и способам реализации делят на две части:

- математические методы и построенные на них математические модели;
- формализованное описание технологии автоматизированного проектирования.

Программное обеспечение (ПО). Подразделяется на общесистемное и прикладное:

- Прикладное ПО реализует математическое обеспечение для непосредственного выполнения проектных процедур. Включает пакеты прикладных программ, предназначенные для обслуживания определенных

этапов проектирования или решения групп однотипных задач внутри различных этапов (модуль проектирования трубопроводов, пакет схемотехнического моделирования, геометрический решатель САПР).

- Общесистемное ПО предназначено для управления компонентами технического обеспечения и обеспечения функционирования прикладных программ. Примером компонента общесистемного ПО является операционная система.

- Информационное обеспечение (ИО) — совокупность сведений, необходимых для выполнения проектирования. Состоит из описания стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, комплектующих изделий и их моделей, правил и норм проектирования. Основная часть ИО САПР — базы данных.

- Лингвистическое обеспечение (ЛО) — совокупность языков, используемых в САПР для представления информации о проектируемых объектах, процессе и средствах проектирования, а также для осуществления диалога проектировщик-ЭВМ и обмена данными между техническими средствами САПР. Включает термины, определения, правила формализации естественного языка, методы сжатия и развертывания.

В лингвистическом обеспечении выделяют класс различного типа языков проектирования и моделирования (VHDL, VERILOG, UML, GPSS).

Методическое обеспечение (МетО) — описание технологии функционирования САПР, методов выбора и применения пользователями технологических приемов для получения конкретных результатов. Включает в себя теорию процессов, происходящих в проектируемых объектах, методы анализа, синтеза систем и их составных частей, различные методики проектирования. Иногда к МетО относят также МО и ЛО.

Организационное обеспечение (ОО) — совокупность документов, определяющих состав проектной организации, связь между подразделениями, организационную структуру объекта и системы автоматизации, деятельность в условиях функционирования системы, форму представления результатов проектирования... В ОО входят штатные расписания, должностные инструкции, правила эксплуатации, приказы, положения и т. п.

В САПР как проектируемой системе выделяют также эргономическое и правовое обеспечения.

Эргономическое обеспечение объединяет взаимосвязанные требования, направленные на согласование психологических, психофизиологических, антропометрических характеристик и возможностей человека с техническими характеристиками средств автоматизации и параметрами рабочей среды на рабочем месте.

Правовое обеспечение состоит из правовых норм, регламентирующих правоотношения при функционировании САПР, и юридический статус результатов её функционирования.

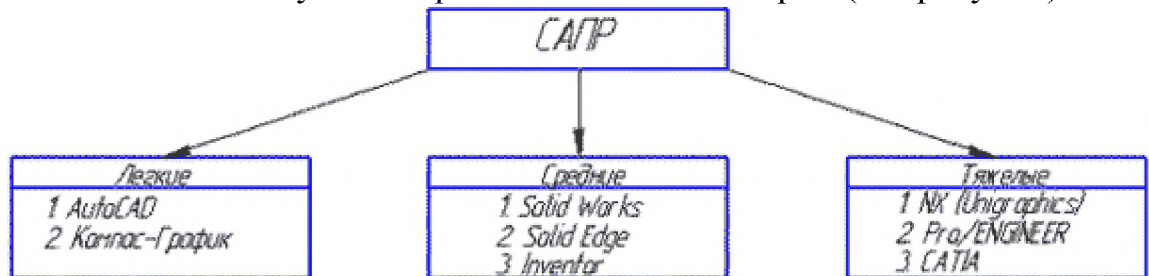
### **Классификация САПР**

Прошло то время, когда инженеры реализовывали свои идеи с

помощью кульмана и карандаша.

Сейчас конструктора и технологи (а также архитекторы, исследователи, программисты и т.д.) повсеместно применяют системы автоматизированного проектирования (или САПР): от самых простых "чертилок" до навороченных программ типа Unigraphics NX.

Все САПР можно условно разделить на 3 категории (см. рисунок):



### Классификация САПР

1. Легкие (AutoCAD, Компас-График)
2. Средние (Solid Works, Solid Edge, Компас-3D)
3. Тяжелые (CATIA, Pro/ENGINEER, NX)

Вполне возможно, что ваша работа будет (или может быть уже) связано с проектированием в какой-либо из этих программ.

Рассмотрим виды САПР более подробно.

1. Легкие САПР применяют, в основном, вместо кульмана. Можно сказать, что 2D черчение на компьютере легче, чем за кульманом, ведь программы настроены специальным образом так, чтобы чертить было максимально легко и комфортно. Здесь не нужно следить за качеством графики, все рисует компьютер. Можно без проблем выполнять чертежи любой сложности и размеров (что немаловажно, когда выполняешь сборки формата A1 и A0).

2. Эти САПР используются для 3D моделирования и построения чертежей по 3D моделям. Естественно, увидев 3D модель двигателя вы поймете намного больше, чем по чертежу также как и то, что деталь выполненная станком с ЧПУ по 3D модели будет точнее, чем рабочим по 2D чертежу.

3. Это даже не программы, а целые комплексы программ для крупного предприятия. В одной вы выполняете 3D модель детали (CAD-программа), во второй - рассчитываете ее на прочность (CAE-программа), в третьей - проектируете инструмент для ее изготовления, в четвертой - разрабатываете управляющую программу для станков с ЧПУ (CAM-программа). Ну и стоимость у них соответствующая количеству функций (прибавьте еще пару нулей к сумме, о которой сейчас подумали).

Поэтому для многих компаний по соотношению цена/качество наиболее оптимальной выглядит категория средних САПР, куда входит и программа Компас 3D.

ГОСТ 23501.108-85 устанавливает следующие признаки классификации САПР:



- тип/разновидность и сложность объекта проектирования
- уровень и комплексность автоматизации проектирования
- характер и количество выпускаемых документов
- количество уровней в структуре технического обеспечения

### **Классификация с использованием английских терминов**

В области классификации САПР используется ряд устоявшихся англоязычных терминов, применяемых для классификации программных приложений и средств автоматизации САПР по отраслевому и целевому назначению.

#### **По отраслевому назначению**

MCAD (англ. mechanical computer-aided design) — автоматизированное проектирование механических устройств. Это машиностроительные САПР, применяются в автомобилестроении, судостроении, авиакосмической промышленности, производстве товаров народного потребления, включают в себя разработку деталей и сборок (механизмов) с использованием параметрического проектирования на основе конструктивных элементов, технологий поверхностного и объемного моделирования (SolidWorks, Autodesk Inventor, КОМПАС, CATIA);

EDA (англ. electronic design automation) или ECAD (англ. electronic computer-aided design) — САПР электронных устройств, радиоэлектронных средств, интегральных схем, печатных плат и т. п., (Altium Designer, OrCAD);

AEC CAD (англ. architecture, engineering and construction computer-aided design) или CAAD (англ. computer-aided architectural design) — САПР в области архитектуры и строительства. Используются для проектирования зданий, промышленных объектов, дорог, мостов и проч. (Autodesk Architectural Desktop, AutoCAD Revit Architecture Suite, Piranesi, ArchiCAD).

#### **По целевому назначению**

По целевому назначению различают САПР или подсистемы САПР, которые обеспечивают различные аспекты проектирования.

CAD (англ. computer-aided design/drafting) — средства автоматизированного проектирования, в контексте указанной классификации термин обозначает средства САПР, предназначенные для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации, и САПР общего назначения.

CADD (англ. computer-aided design and drafting) — проектирование и создание чертежей.

CAGD (англ. computer-aided geometric design) — геометрическое моделирование.

CAE (англ. computer-aided engineering) — средства автоматизации инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий.

CAA (англ. computer-aided analysis) — подкласс средств CAE, используемых для компьютерного анализа.

CAM (англ. computer-aided manufacturing) — средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудованием с ЧПУ или ГАПС (Гибких автоматизированных производственных систем). Русским аналогом термина является АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства.

CAPP (англ. computer-aided process planning) — средства автоматизации планирования технологических процессов применяемые на стыке систем CAD и CAM.

Многие системы автоматизированного проектирования совмещают в себе решение задач относящихся к различным аспектам проектирования CAD/CAM, CAD/CAE, CAD/CAE/CAM. Такие системы называют комплексными или интегрированными.

С помощью CAD-средств создаётся геометрическая модель изделия, которая используется в качестве входных данных в системах CAM, и на основе которой в системах CAE формируется требуемая для инженерного анализа модель исследуемого процесса.

### **Проектирование. Типовая логическая схема проектирования**

#### **Основные определения процесса проектирования**

**Проектирование** - это процесс моделирования инженерной конструкции или технологического процесса, позволяющий провести некую техническую идею до её инженерной модели. Результатом этого процесса является проект, который представляет из себя, как правило, графическую часть (чертежи, схемы) и пояснительную записку (описание назначения изделия, функции, технические характеристики и т.д.). В зависимости от характера целевого объекта проектирование может быть либо чисто дескриптивным моделированием (в случае конструкции), либо дескриптивно-алгоритмическим (если объектом проектирования является процесс)

**Алгоритм проектирования** - совокупность предписаний, необходимых для выполнения проектирования. Алгоритм проектирования может быть общим (для определенного класса объектов) и специальным (для одного объекта). Под выполнением проектирования понимается нахождение результата проектирования.

**Результат проектирования** - проектное решение (совокупность проектных решений), удовлетворяющее заданным требованиям, необходимое для создания объекта проектирования. В заданные требования должны быть включены требования к форме представления проектного решения.

**Проектное решение** - промежуточное или конечное описание объекта проектирования, необходимое и достаточное для рассмотрения и определения дальнейшего направления или окончания проектирования.

**Типовое проектное решение** - уже существующее проектное решение, используемое при проектировании.

**Цель процесса проектирования** состоит, прежде всего, в том, чтобы на основе исходной информации, получаемой в процессе проектирования,

разработать техническую документацию для изготовления объекта проектирования. Проектирование включает в себя разработку технического задания (ТЗ), отражающего потребности, и реализацию ТЗ в виде проектной документации.

Проектирование, по существу, представляет собой процесс управления с обратной связью. Техническое задание формирует входы, которые сравниваются с результатами проектирования, и если они не совпадают, цикл проектирования повторяется вновь до тех пор, пока отклонение от заданных технических требований не окажется в допустимых пределах.

**Проектная процедура** соответствует части проектной подсистемы, в результате выполнения которой принимается некоторое проектное решение. Она состоит из элементарных проектных операций, имеет твердо установленный порядок их выполнения и направлена на достижение локальной цели в процессе проектирования.

Под **проектной операцией** понимают условно выделенную часть проектной процедуры или элементарное действие, совершаемое конструктором в процессе проектирования. Примерами проектных процедур могут служить процедуры разработки кинематической или компоновочной схемы станка, технологии обработки изделий и т.п., а примерами проектных операций - расчет припусков, решение какого-либо уравнения и т.п.

## **2 Системы проектирования**

Процесс проектирования осуществляется системой проектирования, т.е. совокупностью взаимодействующих друг с другом проектировщиков и необходимых для проектирования технических средств.

**Система** - совокупность элементов, объединенных единством цели и иерархией взаимоотношений. Частью системы может быть элемент или другая система (подсистема). В технике рассматриваются сложные технические системы (СТС). Понятие сложности определяется наличием подсистем (п/с) различной физической природы. Каждая подсистема может выполнять свою подцель, но в результате все они работают на единую цель всей системы.

По существу, системы проектирования могут рассматриваться как сложные человеко-машинные многоконтурные, многомерные системы управления с обратной связью, требующие сбора, передачи, переработки и использования информации для достижения цели проектирования. Они должны быть подчинены тому или иному критерию оптимизации, например, критерию наименьшей продолжительности или максимального быстродействия при ограниченных затратах, или критерию быстрой окупаемости спроектированной системы и т.д.

Вначале термин "автоматизация проектирования" применялся во всех тех случаях, когда ЭВМ использовали для расчетов, связанных с проектированием. Но сейчас этот термин приобрел более специфический смысл, относящийся к интерактивным системам, в которых проектировщик и ЭВМ при решении задач проектирования взаимодействуют друг с другом. При помощи автоматизации проектирования результаты проектирования

объектов, в которых использовались новые идеи и технические средства, могут быстро сообщаться проектировщику в удобной для него форме. Благодаря этому за короткий промежуток времени можно глубоко проникнуть в суть проблем, связанных с проектированием. Автоматизация проектирования также позволяет создавать необходимую документацию и проверять полученные результаты. Таким образом, сегодня речь идет о создании, так называемых, интеллектуальных человеко-машинных систем, в рамках которых возможно выполнение всего цикла проектных работ, начиная от научных исследований и кончая изготовлением конструкторской и технологической документации, а в ряде случаев - макетов или опытных образцов. Причем, <интеллектуальность> таких систем определяется тем, в какой степени эта система способствует раскрытию и использованию интеллектуальных возможностей человека, его знаний и опыта как специалиста, освобождая его от механической и нетворческой работы.

Проектирование - это комплекс работ по исследованию, расчетам и конструированию **нового** изделия или **нового** процесса. В основе проектирования лежит первичное описание - **техническое задание (ТЗ)**. Без технического задания проектирование никогда не осуществляется, ибо не определены его цели.

Различают следующие системы проектирования: неавтоматизированное проектирование и автоматизированное проектирование.

Процесс проектирования, осуществляемый человеком вручную (без использования ЭВМ), называют неавтоматизированным проектированием

Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека и ЭВМ, называют автоматизированным проектированием.

Необходимо выделить понятие автоматического проектирования, которое остаётся для выполнения отдельных вычислительных операций, процедур, выполняемых средствами вычислительной техники согласно заложенным в них программам.

Таким образом, автоматическим проектированием называют проектирование, при котором все преобразования описаний объекта и алгоритма его функционирования осуществляются без участия человека. Автоматическое проектирование возможно лишь в отдельных частных случаях для сравнительно несложных объектов.

### **3. Стадии и этапы проектирования**

Согласно стандарту выделяют следующие стадии проектирования:

**Предпроектное исследование** (выполняет заказчик). Здесь выполняется анализ потребностей внешней среды (ВС) в новом изделии, также ведется поиск возможного аналога, т.е. может быть сделан вывод о необходимости модернизации существующего изделия. Результатом является документ ИТ (исходные требования), в котором отражается информация о наличии и характеристиках изделия.

**Разработка технического задания (ТЗ)**. Вообще ТЗ также должен

разрабатывать заказчик на основе собственных ИТ. ТЗ содержит основные характеристики изделия: габариты, вес, энергопотребление. В составе ТЗ производится уточнение структур, функций, режимов работы будущего изделия, описываются требования к дизайну, экономическим показателям. Часто ТЗ требует уточнения исполнителем либо разрабатывается совместно заказчиком и исполнителем до полного согласования и достижения ясности поставленных задач проектирования.

**Разработка предложения технического (ПТ) (уточненного ТЗ).** Уточненное ТЗ или ПТ разрабатывает исполнитель проекта, где отражает свое видение проблемы. Результатом является документ УТЗ, который подписывается исполнителем и заказчиком. Пункты 2 и 3 могут находиться в итерации. Бывает, что на этом процесс заканчивается, если исполнитель заказывает невозможное.

**Эскизное проектирование (ЭП).** Выполняется на основе УТЗ. Здесь моделируются отдельные принципиальные узлы будущего изделия, отрабатываются математические модели поведения. Анализируется и доказывается реальная возможность создания будущего изделия. Проводятся многовариантные испытания, часто строятся физические модели. Результатом стадии ЭП являются уточненные технико-экономические характеристики будущего изделия, принципиальный состав узлов, детализованные проработки важнейших составных частей (схемы, чертежи), ПЗ, возможно макеты. В отдельных случаях процесс проектирования может быть закончен, прерван за бесперспективностью (отрицательный результат), либо продолжен.

**Техническое проектирование (ТП).** Здесь прорабатываются полностью все компоненты изделия: дизайн корпуса, разрабатываются все части проекта. ТП содержит результаты полной параметрической оптимизации, все чертежи, схемы узлов, полное описание функционирования изделия, описание режимов работы. Результат, как правило, опытный образец изделия. Принимается решение заказчиком о возможности передачи в серийное производство. При положительном решении заказчика начинается разработка рабочего проекта (РП).

Результат - полная конструкторская документация и, как правило, опытный образец.

Проектная организация может завершить работу на стадии ТП, передав документацию заказчику, который передает в производственные предприятия (размещает заказ), где тех. проект доводят до рабочего проекта (РП).

**Рабочее проектирование (РП).** Рабочий проект - полный комплекс документов для промышленного выпуска (массовый выпуск изделия).

**Этапом** проектирования называют часть стадии, включающая разработку одного или нескольких аспектов будущего изделия.

#### **4. Подходы к конструированию на основе компьютерных технологий**

Можно выделить два подхода к конструированию на основе

компьютерных технологий. **Первый подход - 2D-моделирование** базируется на **двухмерной геометрической модели, 2D-модели** - и использовании компьютера как электронного кульмана, позволяющего значительно ускорить процесс конструирования и улучшить качество оформления конструкторской документации. Центральное место в этом подходе к конструированию занимает чертеж, который служит средством графического представления изделия, содержащего информацию для решения графических задач, а также для изготовления изделия. Так, с помощью вычислительной техники облегчаются:

1) оформление конструкторских документов, насыщенных изображениями стандартных, типовых, унифицированных составных частей, (например электрических и других принципиальных, функциональных схем, печатных плат, модулей, приборов, электронных блоков, стоек, шкафов, пультов и т.д.);

2) разработка текстовых документов (спецификаций, перечней элементов и др.).

В основе **второго подхода - 3D-моделирования** лежит компьютерная **пространственная геометрическая модель, 3D-модель** изделия, которая является более наглядным способом представления оригинала и более мощным и удобным инструментом для решения геометрических задач. Чертеж в этих условиях начинает играть вспомогательную роль, а методы его создания основаны на методах компьютерной графики, методах отображения пространственной модели.

**Системы автоматизации подготовки производства, управления производством, технической подготовки производства**

#### **CAD/CAM системы**

CAD/CAM системами на западе называют то, что в России принято называть аббревиатурой САПР, то есть **Системы Автоматизированного Проектирования**. Впервые термин CAD прозвучал в конце 50-х гг. прошлого века в Массачусетском технологическом институте в США. Распространение эта аббревиатура получила уже в 70-х гг. как международное обозначение технологии конструкторских работ. С началом применения вычислительной техники под словом CAD подразумевалась обработка данных средствами машинной графики. Однако этот один термин не отражает всего того, что им иногда называют. Например, САПР могут предназначаться для: черчения, для прочерчивания (эскизирования) или и для того, и для другого сразу. Многие системы САПР выполняют существенно больше функций, чем просто черчение и конструирование. Как правило, современные САПР, включают:

**CAD** - Computer Aided Design, или Computer Aided Drafting (проектирование и конструирование с помощью ЭВМ или черчение с помощью ЭВМ). САПР конструктора.

**CAM** - Computer Aided Manufacturing. (автоматизированные системы технологической подготовки производства). САПР технолога.

**CAE** - Computer Aided Engineering (инженерные расчёты с помощью

ЭВМ, исключая автоматизирование чертёжных работ). Проведение всех необходимых расчетов в процессе анализа выполненной конструкции. Иногда этот термин использовался как понятие более высокого уровня - для обозначения всех видов деятельности, которую инженер может выполнять с помощью компьютера.

**PDM - Product Data Management** (управление проектными данными). Предполагает полную информационную поддержку производства. Эксплуатация, рекламация, статистика поведения изделия (сопровождение изделия)

Чаще всего говорят о системах **CAD/CAM/CAE/PDM**.

Использование систем автоматизированного проектирования позволяет не только снизить трудоёмкость, временные и денежные затраты, но освободить человека от большого количества однообразной работы, например, от оформления большей части документопотока.

CAD/CAM-системы находят применение в широком диапазоне инженерной деятельности, начиная с решения сравнительно простых задач проектирования и изготовления конструкторско-технологической документации и, кончая, задачами объёмного геометрического моделирования, ведением проекта, управления распределенным процессом проектирования и т.п.

**Комплексные автоматизированные системы**

**АСП - Автоматизированная Система Планирования** - здесь выполняется планирование выпуска изделий

**АСНИ - Автоматизированная Система Научных Исследований** - здесь выполняется исследовательская часть конструкторских и технологических работ с использованием ЭВМ. Разработка, исследование новых принципов работы изделий, поиск и анализ мировых аналогов. Основные виды работ: математическое моделирование, натурные исследования, (например, создание электромобиля - проводится анализ электродвигателя).

**САПР (CAD) - Система Автоматизированного Проектирования** - совокупность увязанных друг с другом моделей проектных процедур, образующих логическую схему построения объекта (проекта) на основе математических методов, информационных данных и средств ВТ.

**АСТПП (CAM) - Автоматизированная Система Технологической Подготовки Производства** - заключается в разработке технологии: выбор заготовки, определение технологических переходов (операций), выбор оборудования, инструмента, оснастки, вплоть до управляющих программ для станков с ЧПУ.

Ввиду большой связанности процесса САПР и АСТПП многие современные системы автоматизации охватывают весь процесс, такие системы называются CAD/CAM системы (Unigraphics)

**АСУП (PDM) - Автоматизированная Система Управления Предприятием** - необходима для автоматизации организационного управления на предприятии. Анализ деятельности предприятия,

планирование, диспетчирование, учет, контроль. Автоматизация работ управленческого персонала. Управление финансами; управление запасами (складским хозяйством); управление снабжением (статистика закупок, контракты на закупку); маркетинг (статистика и анализ реализации, контракты на реализацию, прогноз, реклама).

**АСУТП - Автоматизированная Система Управления Технологическим Процессом.** Функциями АСУТП являются сбор и обработка данных о состоянии оборудования и протекании производственных процессов для принятия решений по загрузке станков, выполнению технологических маршрутов. Программное обеспечение АСУТП на этих уровнях представлено системой диспетчерского управления и сбора данных, называемой SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), а техническое обеспечение - персональными ЭВМ и микрокомпьютерами, связанными локальной вычислительной сетью. Для систем АСУТП характерно использование программируемых логических контроллеров (ПЛК или PLC - Programmed Logic Controller), - компьютеров, встроенных в технологическое оборудование, управляющая и вычислительная машина одновременно.

На уровне управления технологическим оборудованием в АСУТП выполняются запуск, тестирование, выключение станков, сигнализация о неисправностях, выработка управляющих воздействий для рабочих органов программно управляемого оборудования. Для этого в составе технологического оборудования используются системы управления на базе встроенных контроллеров.

### **Структура и разновидности САПР**

**Концепция формирования САПР как инструмента для разработки объекта**

Согласно определению, рекомендуемому ГОСТом, САПР - это комплекс программно-технических средств автоматизированного проектирования, взаимосвязанных с необходимыми подразделениями проектной организации или коллективом специалистов, выполняющих проектирование.

Таким образом, САПР - система, объединяющая технические средства, математическое и программное обеспечение, параметры и характеристики которых выбирают с максимальным учетом особенностей задач инженерного проектирования и конструирования.

Целью создания САПР некоторого класса изделий является обеспечение полноты всех функций по проектированию, необходимых пользователю для получения проекта.

Конкретная САПР предназначена для решения задач в определенной предметной области (например, САПР печатных плат).

При разработке САПР выполняются следующие процедуры:

Проводится поиск в БД конструкторской документации известных проектных решений, аналогов изделия (проекта);

При необходимости проводится создание новой конструкции изделия



(инженерный синтез);

Проводится анализ разработки на соответствие заданным требованиям (инженерный анализ);

Формируется конструкторская документация.

Общая схема:

Поиск -> синтез -> анализ -> выпуск проектной документации

Синтез и анализ могут повторяться.

### **Разновидности САПР**

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков.

- По приложениям наиболее представительными и широко используемыми являются следующие группы САПР.

САПР для применения в отраслях общего машиностроения (машиностроительные САПР - AutoCAD).

САПР для радиоэлектроники (Electronic CAD - P-CAD) системы.

САПР в области архитектуры и строительства (ArchiCAD).

Кроме того, известно большое число более специализированных САПР, или выделяемых в указанных группах, или представляющих самостоятельную ветвь в классификации. Например, САПР больших интегральных схем, САПР летательных аппаратов, САПР электрических машин, и т.д.

- По целевому назначению различают САПР (или подсистемы САПР), обеспечивающие разные аспекты проектирования. Так, в составе машиностроительных САПР появляются САЕ/CAD/CAM системы:

- - конструкторские САПР общего машиностроения, часто называемые просто CAD (Computer Aided Design) - системами (проектирование и конструирование).

- - технологические САПР общего машиностроения, иначе называемые автоматизированными системами технологической подготовки производства или системами САМ (Computer Aided Manufacturing).

- - САПР функционального проектирования, или САЕ (Computer Aided Engineering) системы (инженерные расчеты). Проведение всех необходимых расчетов в процессе анализа выполненной конструкции.

- - САПР информационной поддержки производства PDM (Product Data Management) системы (управление проектными данными).

- По масштабам (комплексности решаемых задач) различают отдельные программно-моделирующие комплексы (ПМК) САПР (например, комплекс анализа электронных схем); системы ПМК; системы с уникальными архитектурами не только программного, но и технического обеспечений.

- По характеру базовой подсистемы - ядра САПР:

САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т.е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов.

САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых

при сравнительно несложных математических расчетах перерабатывается большой объем данных.

САПР на базе конкретного прикладного пакета. Фактически это автономно используемые программно-моделирующие комплексы.

Комплексные (интегрированные) САПР. Состоят из совокупности подсистем предыдущих видов.

### **САПР как сложная система**

Как и любая сложная система, САПР состоит из подсистем.

Структурными составляющими САПР являются подсистемы, обладающие всеми свойствами системы и создаваемые как самостоятельные системы. Это выделенные по некоторым признакам части САПР, обеспечивающие выполнение некоторых законченных проектных задач с получением соответствующих проектных решений и проектных документов.

Различают подсистемы **функциональные** (проектирующие) и **обеспечивающие** (обслуживающие).

**Функциональные подсистемы, "движки"** непосредственно выполняют проектные процедуры. Примерами функциональных подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

**Обеспечивающие, сервисные подсистемы** предоставляют необходимые ресурсы для работы функциональных подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР.

Типичными обеспечивающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными, управления процессом проектирования, пользовательского интерфейса для связи разработчиков с ЭВМ, CASE (Computer Aided Software Engineering) для разработки и сопровождения программного обеспечения САПР, обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

### **Функциональные подсистемы**

Функциональные подсистемы выполняют проектные процедуры и операции, используя при этом, в общем случае, все средства обеспечивающих подсистем.

Набор функциональных подсистем, в общем случае, для каждой САПР различен и зависит от задач на решение которых ориентированна данная САПР, однако функциональные подсистемы любой САПР можно разделить на четыре основных вида и представить в виде типового набора функциональных подсистем (т.е. набора подсистем которые содержатся в любой САПР объекта):

**ФП1 - поиск аналогов**

**ФП2 - инженерный синтез**

**ФП3 - инженерный анализ**

**ФП4 - формирование и ведение проектной документации**

**ФП1 - поиск аналогов** разрабатываемого изделия. Аналог нового изделия - это такое известное изделие, которое отвечает большинству

заданных характеристик.

Работа в ФП1 заключается в анализе существующих технических решений, находящихся в базах данных (желательно мирового уровня).

ФП2 и ФП3 - это подсистемы, обеспечивающие поиск и генерацию вариантов технического решения и определения характеристик объекта (качественных показателей). Осуществляется моделирование структуры и поведения объекта, а также оптимизация характеристик объекта. Ведется выполнение всех вычислительных процедур и процедур текущего отображения.

**ФП4 - формирование и ведение проектной документации.** Эта подсистема в соответствии с существующими ГОСТами и другими нормативами формирует всю необходимую проектную документацию. Ведение документации предполагает классифицированное хранение всей документации для выдачи копий, а также для возможности небольших коррекций.

В зависимости от отношения к объекту проектирования различают два вида функциональных подсистем:

- специализированные (объектные);
- универсальные (объектно-независимые).

К объектным подсистемам относят подсистемы, выполняющие одну или несколько проектных процедур или операций, непосредственно зависящих от конкретного объекта проектирования. Например, подсистема проектирования технологических систем; подсистема моделирования динамики, проектируемой конструкции и др.

К универсальным относят подсистемы, выполняющие унифицированные проектные процедуры и операции. Например, подсистема расчетов деталей машин; подсистема расчетов режимов резания; подсистема расчета технико-экономических показателей и др.

Процесс проектирования реализуется в функциональных подсистемах в виде определенной последовательности проектных процедур и операций.

## **Обеспечения САПР**

### **Обеспечение САПР - виды, назначение**

Структурное единство подсистем САПР обеспечивается строгой регламентацией связей между различными видами обеспечения, объединенных общей для данной подсистемы целевой функцией.

Согласно видам обеспечения выделяют соответствующие обеспечивающие подсистемы (ОП).

Принято выделять 7 видов обеспечения:

1. математическое;
2. программное;
3. информационное;
4. лингвистическое;
5. техническое;
6. инструктивно-методическое;
7. организационно-технологическое.

**Математическое обеспечение (МО)** - совокупность математических моделей, методов решения, алгоритмов для решения задач САПР, а также совокупность специалистов, владеющих этими методами или способных разработать новые методы.

**Лингвистическое обеспечение (ЛО)** - совокупность языков, используемых для представления информации о проектируемых объектах, процессе и средствах проектирования.

**Программное обеспечение (ПО)** - совокупность программ на машинных носителях и соответствующей документации, реализующих задачи САПР. ПО делится на общесистемное, базовое и прикладное. Общесистемное - ОС, оболочки и среды (не отражают спецификации САПР). Базовое ПО - мониторная система - комплекс программ, управляющих прикладным ПО. Прикладное ПО - обычно набор пакетов прикладных программ, предназначенных для реализации тех или иных проектных процедур.

**Информационное обеспечение (ИО)** - совокупность справочных данных, необходимых в данной предметной области. В БД хранится эта информация, которую можно записывать, а затем извлекать. Пополнение БД выполняется специалистами при обслуживании САПР.

**Техническое обеспечение** - совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств для ввода, хранения, переработки, передачи программ и данных.

**Инструктивно-методическое обеспечение (ИМО)** - совокупность документов, характеризующих состав, функционирование и правила эксплуатации САПР (содержит последовательную методику решения задач проектирования и использования пакета).

**Организационно-технологическое обеспечение (ОТО)** - совокупность документов, включающих положения, квалификационные

требования, штатные расписания, инструкции, приказы и т.д. ОТО регламентирует взаимодействие проектной организации с комплексом средств автоматизированного проектирования.

Функционирование САПР возможно только при наличии и взаимодействии всех перечисленных обеспечивающих подсистем.

## **Математическое обеспечение САПР**

### **1 Состав и функции МО САПР**

Математическое обеспечение (МО) включает в себя математические модели (ММ), методы и алгоритмы, необходимые для выполнения автоматизированного проектирования.

Математическое обеспечение САПР реализуется в виде программ и сопровождающей документации. На основе математического обеспечения решаются все задачи в САПР: постановка проблемы, организация вычислительного процесса и диалога человек - ЭВМ, анализ, синтез, техническое проектирование и т.д. Математическое обеспечение САПР делят на две основные составляющие: обслуживающую (общую) и проектирующую (специальную).

Обслуживающая составляющая математического обеспечения САПР содержит средства:

- описания графических образов, накопления библиотек типовых изображений, редактирования, преобразования, называемые математическими средствами машинной графики;

- обработки информационных массивов - методы сортировки, поиска элементов, преобразования структур и поиска данных;

- обеспечения вычислительного процесса САПР;

- сбора статистики параметров получаемых решений.

Количество частей обслуживающей составляющей математического обеспечения САПР увеличивается вместе с прогрессом теории и практики САПР.

Проектирующая или специальная составляющая математического обеспечения САПР содержит средства решения прикладных задач, на которые ориентирована САПР. Решение прикладных задач основывается на математическом моделировании объектов проектирования.

### **2 Общая модель объекта проектирования**

Исторически известны два метода исследования: экспериментально - наблюдательный и теоретико - логический. Однако в САПР и кибернетике в целом, используют третий метод - **моделирование**. По сути это метод экспериментально-наблюдательный, но эксперименты проводятся не с реальным объектом, а с его моделью, которая проще и доступнее чем объект.

Модель - это система математических зависимостей, алгоритм или программа имитирующие структуру или функции исследуемого объекта. Модель в процессе изучения замещает объект оригинал, сохраняя его наиболее важные черты. Моделирование - представление различных

характеристик поведения физической или абстрактной системы с помощью другой системы.

В САПР модели представляют в виде алгоритмов решения задач, а затем - в виде программ. Модели сложных объектов расчленяются на частные подмодели, разбиваются на более простые, отражающие отдельные стороны функционирования объекта (т.е. подвергаются **декомпозиции** на частные модели). Каждая частная модель представляет собой некоторое математическое преобразование (2.1.):

где  $Z = \{z_i, i=1..k\}$  - совокупность выходных параметров модели;

$F$  - оператор (модель) преобразования ( $F$  - функция от входных переменных);

Вектор  $X = \{x_i, i=1..n\}$  - совокупность внешних параметров, приходящих из модели более общей системы;

Вектор  $Y = \{y_i, i=1..m\}$  - совокупность входных управляемых параметров модели, которыми может оперировать конструктор в процессе проектирования. Управляемые входные параметры могут меняться в заданных пределах, т.е. на них накладываются так называемые параметрические ограничения:

$$\{y_{in} \leq y_i \leq y_{iv}, i=1..m\} \quad (2.2.)$$

$y_{in}$  и  $y_{iv}$  - нижний и верхний пределы;

Математическое обеспечение САПР включает в себя математические модели и методики построения математических объектов проектирования и алгоритмов их решения. Методы МО используются для формализованного представления объекта проектирования в виде математических моделей, а методики и алгоритмы - при реализации конкретных алгоритмов решения задач проектирования с использованием математических моделей.

В дальнейшем по мере развития системы САПР математическое обеспечение будет пополняться новыми, необходимыми для описания процесса и объектов проектирования методами, методиками и алгоритмами.

### **3 Задачи анализа, оптимизации и синтеза**

Известны три основных постановки задачи проектирования:

**В первом случае** заданы параметрические ограничения (2.2.) и модель (оператор) преобразования  $F$ , т.е. заданна полная система математических операций, описывающая численные или логические соотношения между множеством  $X$  и  $Y$  для получения  $Z$ . Требуется найти значение вектора  $Z$  для любого  $Y$ , удовлетворяющего ограничениям (2.2.) и вектору  $X$ . Это **задача**

**анализа.** Она сводится к выполнению расчётов по формуле (2.1)

**Во втором случае** заданы ограничения (2.2.), математическая модель (оператор)  $F$ , а также заданы функциональные ограничения вида:

$$\{Q_jH \leq Q_j(X, Y) \leq Q_jB, j=1..p\} \quad (3.1.)$$

где  $Q_j(X, Y)$  - некоторая функция от параметров модели, называемая критерием качества модели (оценка характеристик изделий, например по стоимости, по помехозащищённости и др.);  $Q_jH$  и  $Q_jB$  - нижний и верхний пределы.

$$Q_j(X, Y) \rightarrow \text{extr}$$

Каждая модель оценивается некоторой совокупностью критериев качества (их число обозначено через  $p$ ). Критерии качества дают численное представление о степени соответствия изделия его назначению.

В выражение (3.1.) помимо упомянутых критериев качества могут входить функциональные ограничения, характеризующие просто зону работоспособности модели (изделия). Например, по выходным параметрам:

$$\{z_iH \leq z_i \leq z_iB, i=1..l\} \quad (3.2.)$$

где  $l$  - число выходных параметров, на диапазон возможных изменений которых наложены ограничения.

В этом случае приходим к задаче **оптимального проектирования**, которую можно сформулировать следующим образом. В  $M$ -мерном пространстве управляемых параметров найти такое множество точек  $G$ , которому соответствовало бы в  $p$ -мерном пространстве критериев множество точек  $s$ , причем для каждой точки множества  $s$  выполнялось бы соотношение (3.1.). При сформулированном подходе любая точка множества  $G$  допускает решение. Поэтому  $G$  называют множеством допустимых решений. В результате решения находим вектор  $Z$ , отвечающий требованиям оптимальности.

**В третьем случае - задача синтеза** - при заданных  $X$  и параметрических ограничениях (2.2.) не задан оператор преобразования  $F$ , не известна математическая зависимость между совокупностью входных и выходных параметров. Требуется найти такое преобразование  $F$ , при котором выполнялись бы функциональные ограничения вида (3.1.).

Синтез технических объектов нацелен на создание новых вариантов

конструкций изделий, а анализ на оценку этих вариантов. Синтез и анализ выступают в процессе проектирования в единстве, итерационной последовательности. При синтезе заранее заданы: допустимый набор используемых элементов, накапливаемых в БД, либо стандартные детали механических конструкций. Различают структурный синтез, т.е. поиск оптимальной или рациональной структуры (схемы) технического объекта, говорят в рамках выбранного принципа действия. Например это задача размещения микросхем на печатной плате. Параметрический синтез - определение наилучших динамических параметров при выбранной структуре.

#### **4 Задачи структурного и параметрического синтеза**

Общая постановка задачи структурного и параметрического синтеза.

Результирующее проектное решение (при конструкторском проектировании) ищется на множестве структур  $A$ , которые способен создать проектировщик, а также на множестве варьируемых параметров  $Y$ . Здесь  $A$  и  $Y$  образуют множество альтернатив, на которых ищутся решения. Тогда общая форма задачи синтеза ставится так:

Поиск при заданных ограничениях

для достижения экстремума функции.

Таким образом, техническое решение представляет собой некоторую структуру и, найденную на множестве структур и параметров, отвечающих ограничениям в среде функционирования  $X$ .

Процедуры структурного и параметрического синтеза.

Процедуры синтеза выполняются на основе математической модели, являющийся математическим аналогом проектируемого объекта. Степень адекватности (соответствия) модели реальному (будущему) объекту определяется начальной постановкой. Процедуры синтеза и анализа итерационны и образуют два вложенных цикла:

- внешний - структурный цикл;
- внутренний - параметрический цикл.

$V_p, V_c$  - вариация пар (структур).

Процедура выбора заключается в выборе некоторых данных для отобранной структуры, на основе чего и строится математическая модель. Основными показателями при реализации цикла является показатель модели, т.е. время реализации одного модельного эксперимента по расчету критериальных показателей при заданном векторе варьируемых параметров. Это модельное время.

Используются различные методы для варьирования значений параметров, в том числе:



а) полный перебор (сканирование), при котором задаются верхние и нижние значения параметров и задается  $\Delta u_i$

б) метод случайного поиска.

Внешний цикл - это перебор структур, часто он делается вручную.

Точка 1 - выход - найдено проектное решение.

Точка 2 - при неблагоприятном исходе, т.е. невозможности найти решение на обозримом числе структур в пределах заданного пространства поиска система выводит на точку 2 процедуру принятия решения. Здесь существует 2 альтернативы принятия решения:

1 альтернатива проектировщика: перенос ряда независимых параметров  $X$  (внешних ограничений) в число варьируемых параметров  $Y$ ;

2 альтернатива заказчика: уступки заказчика - снижение требований на ряд некоторых качественных характеристик

Если альтернатива 1 - это уступка нам со стороны смежных проектировщиков, то 2 - это уступка заказчика.

### **5 Задачи оптимизации**

Задача повышения эффективности технологических и организационных систем (например: металлорежущего станка, автоматической линии, производства в целом) путём принятия обоснованных решений актуальна во всех областях деятельности человека. Количественная оценка эффективности может быть получена при заданной цели функционирования системы, с учётом ограничений на ресурсы, привлекаемые для достижения цели. При этом задача принятия решения ставится как задача выбора параметров системы, обеспечивающих максимизацию или минимизацию целевой функции. Последняя количественно определяет степень достижения цели - величину критерия оптимизации. В качестве критерия можно принять, например, себестоимость изделия (цель-минимизация), быстродействие машины или прибора (цель-максимизация) и другие показатели.

В процессе оптимизации, с учетом заданных условий, отыскиваются элементы решения, т.е. те параметры системы и показатели качества, которые зависят от выбора и приводят к отыскиванию оптимальных конструкций, технологических схем и др.

Всякая оптимизационная задача предполагает заданной целевую функцию - количественный показатель качества альтернатив выбора. Обычно в задачах оптимизации отыскивается экстремум интегрального показателя, который представляется одной функцией  $f(X)$  нескольких переменных, заданной в некоторой области допустимых значений переменных.

Наименьшее или наибольшее значения целевой функции из всех возможных в заданной области  $R$  называются **глобальными экстремумами**. Значение  $X$ , при котором достигается глобальный экстремум, называется **точкой глобального экстремума**. **Локальный экстремум** функции  $f(X)$  - значение  $f(X^\circ)$  этой функции такое, что для любого  $X$  из  $R$ , близкого к  $X^\circ$  из  $R$ , справедливо  $f(X^\circ) \geq f(X)$  (локальный максимум) или  $f(X^\circ) \leq f(X)$

(локальный минимум).

Обоснованное применение количественных методов для принятия решений - оптимизацию поведения структур систем называют исследованием операций (ИСО). Здесь операция - комплекс целенаправленных действий.

Задача, рассмотренная выше, решается с применением математической модели системы, объединяющей упомянутые ограничения на ресурсы и целевую функцию. Нахождение величин упомянутых параметров системы (они входят в математическую модель как неизвестные) путём решения математической задачи называют **математическим программированием**. Математическое программирование - важная область математики, ориентированная на широкое применение компьютеров.

В зависимости от характера целевой функции, а также ограничений могут использоваться различные методы оптимизации (математического программирования): линейное программирование, нелинейное программирование (хотя бы одна из функций нелинейна по  $X$ ), целочисленное линейное программирование, динамическое программирование и др.

### **6 Задачи линейного программирования**

Одним из разделов математического программирования является линейное программирование. В моделях линейного программирования так называемая <основная задача> состоит в нахождении неотрицательного решения системы линейных уравнений или неравенств (ограничений), которое минимизирует или максимизирует линейную форму (целевую функцию). Математическая задача линейного программирования записывается в сокращённом виде следующим образом:

Геометрическая интерпретация задачи ЛП

Задача линейного программирования геометрически может быть проиллюстрирована следующим образом.

Пусть необходимо найти минимум целевой функции:

Переменные  $x_1$  и  $x_2$  должны быть неотрицательными.

Поэтому множество точек, являющихся возможными (допустимыми) решениями, может находиться в первом квадранте (см. рис. 4.6.1.). Неравенства-ограничения изображены в виде полуплоскостей, границами которых являются прямые (графики функций), полученные из неравенств путём отбрасывания знаков  $>$ ,  $<$ . Полуплоскости образуют выпуклый многоугольник (многоугольник решений - симплекс).

Линейная форма (линия уровня) для некоторого набора фиксированных значений переменной  $z$  представляет собой семейство параллельных прямых. Одна из них, которая пройдёт через вершину многоугольника  $\langle M \rangle$ , ближайшую к началу координат и даст минимум  $z$  (для координат вершины).

Графический способ решения (перемещение графика целевой функции по симплексу) приемлем только для двухмерных задач (задач на плоскости).

Но геометрическое толкование задачи линейного программирования справедливо и для общего случая ( $m$  ограничений и  $n$  переменных). Каждое из соответствующих неравенств уравнений системы определяет некоторую гиперплоскость в  $n$ -мерном пространстве. Множество неотрицательных решений образует выпуклый многогранник в  $n$ -мерном пространстве. Линейная форма  $z$ -гиперплоскость, перемещая которую параллельно самой себе, будем получать множество точек пересечения её с выпуклым многогранником. Максимальное или минимальное значение линейной формы достигается в точках, являющихся вершинами выпуклого многогранника.

В силу трудности решения задачи графическим способом в случае  $m$  ограничений и  $n > 2$  переменных применяют другие методы решения задачи ЛП. Наиболее распространённым и удобным является **симплекс метод** решения задачи ЛП.

Для решения задачи линейного программирования симплекс-методом применяется специальный аппарат формальных преобразований математической модели. Рассмотрим некоторые его положения. Пусть задана основная задача линейного программирования (см. (4.6.1.) и (4.6.2)). Введя в левую часть каждого неравенства добавочную переменную, преобразуем его в уравнение и перейдём к другой, стандартной форме записи:

При этом значения  $b_i$  должны быть неотрицательными. В случае  $b_i < 0$  обе части уравнения умножают на  $> - 1 >$ . Заметим, что при максимизации  $z$  задача сводится к стандартной путём замены:  $\max z = - \min (-z)$ .

Систему (4.6.3) после несложных преобразований можно привести к виду:

Здесь  $b_i \geq 0$ . Коэффициенты при переменных  $< FONT >$  равны единице (+1). Данная система представлена в канонической форме записи. Если количество переменных превышает количество уравнений, то существует бесчисленное множество решений системы.

Пусть  $m < n$ . Разделим все переменные системы (4.6.4) на две части:

а) основные переменные, количество которых должно быть равно количеству линейно-независимых переменных ( $m$ );

б) неосновные переменные, количество которых будет равно  $n - m$ .

Назначим первые  $m$  переменных ( $x_1, x_2, \dots, x_m$ ) в качестве основных. Тогда систему (4.6.4) можно решить относительно  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , если определитель  $m$ -го порядка, составленный из коэффициентов при переменных  $x_1, x_2, \dots, x_m$  не равен нулю.

Придавая неосновным (независимым) переменным произвольные

числовые значения, получим некоторое решение данной системы, причём каждому набору значений независимых переменных будет соответствовать одно определённое решение системы.

Основные (зависимые, несвободные) переменные будем называть базисными, неосновные (независимые, свободные) - небазисными переменными.

Можно составить бесчисленное множество различных наборов значений независимых переменных. Из всех этих решений в линейном программировании нас будет интересовать так называемые допустимые базисные решения.

Допустимое базисное решение системы линейных уравнений при  $m < n$  - это такое решение, в котором неосновным (независимым, небазисным) переменным даны нулевые значения, а значения базисных переменных являются неотрицательными (**решение на грани или вершине симплекса**).

В теории линейного программирования доказывается, что если оптимальное решение задачи существует, то оно совпадает по крайней мере с одним из допустимых базисных решений.

Поиск и направленные переходы от одних допустимых базисных решений к другим с целью определения оптимального решения может быть выполнен численным методом. Один из них рассмотрим ниже.

Рассмотрим вычислительные и логические процедуры, обеспечивающие поиск решения задачи линейного программирования симплекс-методом. Процедуры поясняются в процессе решения конкретной задачи: найти совокупность значений, удовлетворяющих системе неравенств:

Таким образом, идея симплекс-метода преобразования модели заключается в таком интерактивном направленном переходе от одного допустимого базисного решения к другому, при котором последовательно улучшается значение линейной формы.

Симплекс-метод является наиболее распространенным универсальным методом. Существует несколько вариантов этого метода, рассмотрим один из них.

Необходимо предварительно выполнить следующие этапы:

- привести математическую модель к каноническому виду;
- определить начальное допустимое базисное решение задачи;

Пример:

$$L=3x_1+2x_2 \text{ Rmax}$$

$$x_1-x_2 \leq 2,$$

$$2x_1+x_2 \leq 6,$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Приведем заданную модель к каноническому виду, введя свободные переменные  $x_3$  и  $x_4$ , превращающие неравенства в равенства. Переменные  $x_3$  и  $x_4$  входят в уравнение с коэффициентом единица и только один раз:

$$L=3x_1+2x_2 \text{ Rmax}$$

$$x_1-x_2+x_3=2,$$

$$2x_1+x_2+x_4=6,$$

$x_j \geq 0$

где  $x_3, x_4$  - дополнительные переменные,  $x_1, x_2$  - свободные переменные,  $A_3, A_4$  - начальный базис,  $A_0$  - вектор ограничений.

Составим симплекс - таблицу, соответствующую каноническому виду:

Табл. 0			0	3	2	0	0	q
i	Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	
1	0	A3	2	1	-1	1	0	2b <sub>min</sub>
2	0	A4	6	2	1	0	1	3
	D		0	-3	-2	0	0	
	Z		0	0	0	0	0	
				Э <sub>min</sub>				

Элементы строки D рассчитываем по формулам:

Для базисных переменных оценки всегда равны нулю.

Значение критерия для данного начального базиса будет равно нулю:

$$L = \sum c_i a_{i0} = 0 \cdot 2 + 0 \cdot 6 = 0;$$

Так как имеются  $D_j < 0$  приступаем к улучшению плана.

Первая итерация

В базис вводим вектор  $A_1$ , которому соответствует минимальное значение  $D_j$ . Из базиса выводим вектор  $A_3$ , так как минимальное  $q$  достигается при  $i=3$ .

Таким образом, элемент  $a_{31}$  будет направляющим (в таблице выделен зеленым цветом).

Заполняем таблицу, соответствующую новому базисному решению.

Все элементы  $a_{ij}$  таблицы определяются по следующему рекуррентному соотношению:

где  $a_{kl}$  - направляющий элемент,  $l$  - номер итерации

Табл. 1			0	3	2	0	0	q
i	Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	
1	3	A1	2	1	-1	1	0	-
2	0	A4	2	0	3	-2	1	2/3bmin
	D		6	0	-5	3	0	
	Z		6	3	-3	3	0	
					Эmin			

Приведем расчет нескольких элементов таблицы:

Элемент  $a_{42}=3$  является направляющим (в таблице выделен зеленым цветом).

Так как в строке оценок полученного нового плана имеется отрицательное значение  $D_j$ , приступаем ко второй итерации, продолжая улучшать план.

Вторая итерация

Табл. 2			0	3	2	0	0	q
i	Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	
1	3	A1	8/3	1	0	1/3	1/3	8
2	2	A2	2/3	0	1	-2/3	1/3	-
	D		28/3	0	0	-1/3	5/3	
	Z		28/3	3	2	-1/3	5/3	
					Эmin			

Элемент  $a_{13}=1/3$  является направляющим (в таблице выделен зеленым цветом).

Третья итерация

Табл. 3			0	3	2	0	0
i	Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4
1	0	A3	8	3	0	1	1
2	2	A4	6	2	1	0	1
	D		12	1	0	0	2
	Z		12	4	2	0	2

Поскольку все  $D_j \geq 0$ , то план представленный в данной таблице будет оптимальным.

**Ответ:**  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = 6$ ;  $x_3 = 8$ ;  $x_4 = 0$ ;  $L = 12$ ;

Если в системе ограничений имеются неравенствами вида  $>$  и / или  $=$ , начальный план не может быть найден так же просто, как в рассмотренном примере. В таких случаях начальный план отыскивают с помощью искусственных переменных.

Пример: Найти максимум функции

$$L = 2x_1 + 3x_2 - 5x_3;$$

при ограничениях:

$$2x_1 + x_2 - x_3 \leq 7,$$

$$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 6,$$

$$x_1 + 4x_2 = 8,$$

$$x_j \geq 0$$

Вводим в систему три искусственные переменные:  $x_6$ ,  $x_7$ ,  $x_8$ , позволяющие получить начальный базис.

Для исключения из базиса этих переменных последние вводятся в целевую функцию с большим отрицательным коэффициентом  $M$  (в задаче минимизации - с положительным  $M$ )

$$L = L - M \cdot x_6 - M \cdot x_7 - M \cdot x_8 \rightarrow \max$$

при ограничениях

$$2x_1 + x_2 - x_3 - x_4 + x_6 = 7,$$

$$x_1 + 2x_2 + x_3 - x_5 + x_7 = 6,$$

$$x_1 + 4x_2 + x_8 = 8,$$

$$x_j \geq 0$$

Выбрав в качестве начального базиса векторы  $A_6$ ,  $A_7$ ,  $A_8$ , решаем полученную задачу с помощью табличного симплекс-метода.

Если в оптимальном решении такой задачи нет искусственных переменных, это и есть оптимальное решение исходной задачи.

Если же в оптимальном решении данной задачи хоть одна из



искусственных переменных будет отлична от нуля, то система ограничений исходной задачи несовместна и исходная задача не разрешима.

Табл 0		0	2	3	-5	0	0	-M	-M	-M	q
Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
-M	A6	7	2	1	-1	-1	0	1	0	0	7
-M	A7	6	1	2	1	0	-1	0	1	0	3
-M	A8	8	1	4	0	0	0	0	0	1	2b <sub>min</sub>
	D	-21M	-4M	-7M	5	M	M	0	0	0	
			-2	-3							
				Э <sub>min</sub>							

Элемент  $a_{82}=4$  является направляющим (в таблице выделен зеленым цветом).

Столбцы, соответствующие искусственным переменным по мере вывода из базиса из расчета исключаются.

Табл 1		0	2	3	-5	0	0	-M	-M	q
Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
-M	A6	5	7/4	0	-1	-1	0	1	0	20/7b <sub>min</sub>
-M	A7	2	1/2	0	1	0	-1	0	1	4
3	A2	2	1/4	1	0	0	0	0	0	8
	D	-7M+6	-9M/4-3/4	0	M+5	M	M	0	0	
			Э <sub>min</sub>							

Элемент  $a_{61}=7/4$  является направляющим (в таблице выделен зеленым цветом).



Табл 2		0	2	3	-5	0	0	-M	q
Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	
2	A1	20/7	1	0	-4/7	-4/7	0	0	-
-M	A7	4/7	0	0	9/7	2/7	-1	1	4/9bmin
3	A2	9/7	0	1	1/7	1/7	0	0	9
	D	-4M/7 +67/7	0	0	-9M/7 +30/7	2M/7 -5/7	M	0	
					Эmin				

Направляющий элемент  $a_{73}=9/7$  (в таблице выделен зеленым цветом).

Табл 3		0	2	3	-5	0	0
Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	A5
2	A1	28/9	1	0	0	0	-4/9
-5	A3	4/9	0	0	1	2/9	-7/9
3	A2	11/9	0	1	0	-1/9	1/9
	D	23/3	0	0	0	23/9	30/9

Найдено оптимальное решение, так как все оценки неотрицательные и в базисе нет искусственных переменных:

$$x_1=28/9, x_2=11/9, x_3=4/9, x_4=0, L=23/3.$$

### Обзор современных систем автоматизированного проектирования

В настоящее время в деятельность изыскательских и проектных организаций быстро проникает компьютеризация, поднимающая проектную работу на качественно новый уровень, при котором резко повышаются темпы и качество проектирования, более обоснованно решаются многие сложные инженерные задачи, которые раньше рассматривались лишь упрощенно. Во многом это происходит благодаря использованию эффективных специализированных программ, которые могут быть как самостоятельными, так и в виде приложений к общетехническим программам. Деятельность по созданию программных продуктов и технических средств для автоматизации проектных работ имеет общее название - САПР.

**САПР (англ. CAD, Computer-Aided Design)** - программный пакет, предназначенный для проектирования (разработки) объектов производства (или строительства), а также оформления конструкторской и/или технологической документации.

Компоненты многофункциональных систем САПР традиционно группируются в три основных блока CAD, CAM, CAE. Модули блока CAD (Computer Aided Design) предназначены в основном для выполнения графических работ, модули CAM (Computer Aided Manufacturing) - для решения задач технологической подготовки производства, модули CAE (Computer Aided Engineering) - для инженерных расчетов, анализа и проверки проектных решений.

Существует большое количество пакетов САПР разного уровня. Значительное распространение получили системы, в которых основное внимание сосредоточено на создании "открытых" (т.е. допускающих расширение) базовых графических модулей CAD, а модули для выполнения расчетных или технологических задач (соответствующие блокам CAM и CAE) остаются для разработки пользователям или организациям, специализированным на соответствующем программировании. Такие дополнительные модули могут использоваться и самостоятельно, без CAD-систем, что очень часто практикуется в строительном проектировании. Они сами могут представлять крупные программные комплексы, для которых разрабатываются свои приложения, позволяющие решать более узкие задачи.

Крупнейшим в мире поставщиком программного обеспечения для промышленного и гражданского строительства, машиностроения, рынка средств информации является компания Autodesk, Inc. Начиная с 1982 года компанией Autodesk был разработан широкий спектр решений для архитекторов, инженеров, конструкторов, позволяющих им создавать цифровые модели. Технологии Autodesk используются для визуализации, моделирования и анализа поведения разрабатываемых конструкций на ранних стадиях проектирования и позволяют не просто увидеть модель на экране, но и испытать её.

- В России и странах СНГ наиболее широко распространен программный пакет **AutoCAD** (<http://www.autodesk.ru/>). Разработанный Autodesk более 20 лет назад, он долгое время отвечал самым взыскательным требованиям проектировщиков. Но на сегодняшний день, обладая богатым инструментарием и возможностями адаптации к требованиям пользователя, он уже не удовлетворяет потребностям большинства проектировщиков. Этот пакет может применяться лишь при разработке очень малых и достаточно простых проектов, автоматизируя только рутинную работу кульмана и не более того. Современному проектировщику нужно гораздо больше, чем просто быстрое и красивое выполнение чертежей.

- В связи с описанной выше ситуацией фирма Autodesk продолжила развитие линейки своих продуктов, выпустив замечательное приложение для архитектурно-строительного проектирования **Autodesk Architectural Desktop** (<http://www.autodesk.ru/>). Программа ориентирована на профессиональных архитекторов и специалистов в области промышленного и гражданского строительства. Мощные специализированные функции продукта сэкономят время и улучшат управление проектами. При этом поддерживаются традиционные приемы и способы построения объектов.

Гибкость в работе, возможность проектирования различных сооружений вплоть до мельчайших деталей и привычная среда AutoCAD наилучшим образом подходят для решения различных архитектурных задач.

- Дальнейшим развитием Autodesk Architectural Desktop является программа **Autodesk Building Systems** (<http://www.autodesk.ru/>), предназначенная для проектирования внутренних инженерных сетей. Обладая всеми средствами AutoCAD и Autodesk Architectural Desktop, она является мощным инструментом, включающим собственные модули для проектирования вентиляции и отопления, электрических сетей, водопровода и канализации.

- **Autodesk Architectural Studio** (<http://www.autodesk.ru/>) - инструмент концептуального проектирования и мультимедийной обработки проектных данных. Этот программный продукт предназначен для архитекторов и других профессионалов в сфере строительства, дизайна и архитектуры. Architectural Studio воссоздает инструменты и методы традиционной студии проектирования, повторяя в цифровом облике традиционную технику черчения от руки, принятую у художников и архитекторов, делая их работу более продуктивной. Прямое воздействие на объекты уникальными инструментами позволяет интуитивно почувствовать поведение объектов и управлять ими в реальном времени в любой точке мира благодаря веб-технологиям.

- **Autodesk Revit Structure** (<http://www.autodesk.ru/>) содержит специализированные функции для проектирования и расчета строительных конструкций. В основе продукта лежит технология информационного моделирования зданий (BIM). Благодаря преимуществам этой технологии Revit Structure повышает уровень координации специалистов, помогает выпускать более качественную документацию, сокращает количество ошибок и позволяет наладить более активное взаимодействие между проектировщиками конструкций и архитекторами.

- Несмотря на все мощные средства проектирования и визуализации, ключевым моментом в САПР является именно получение выходной документации и её оформление в соответствии с принятыми стандартами, что считается неотъемлемой частью процесса проектирования. Для того чтобы автоматизировать рутинную работу при нанесении различных элементов оформления, Русской Промышленной Компанией была разработана программа **auto.СПДС** (<http://www.spds.ru/>) - это приложение для AutoCAD, Autodesk Architectural Desktop, Autodesk Building Systems и многих других вертикальных решений на основе AutoCAD. Программа позволяет наносить различные условные обозначения, выноски, отметки, линии обрыва, виды, координационные оси, штриховку и многое другое. При этом все объекты являются "интеллектуальными" и могут быть легко отредактированы как с помощью "ручек", так и специальных диалоговых окон.

- **ArchiCAD** (<http://www.archicad.ru/>) - программное обеспечение компании Graphisoft является на данный момент одной из лучших систем

архитектурно-строительного проектирования, которое с помощью концепции Виртуального Здания (Virtual Building) реализует уникальную технологию Информационного Моделирования Зданий (Building Information Modeling - BIM). ArchiCAD - мощная среда 3D-моделирования для работы с объектами по современным технологиям. Система разработана специально для архитекторов: инструментарий программы позволяет строить чертежи и модель из привычных объектов (стен, колонн, перекрытий и т.д.), а интерфейс программы интуитивно ясен. При работе в ArchiCAD не просто создаются отдельные чертежи, а разрабатывается полный набор документации по проекту в одном файле.

- Российская фирма Еврософт предлагает **ArCon "Архитектура и дизайн"** (<http://www.eurosoft.ru/>) - программный продукт для архитекторов, дизайнеров, специалистов в области недвижимости, предназначенный для профессионального проектирования и оформления домов, квартир, помещений и внутренней обстановки. Особая популярность программы ArCon обеспечена преимуществами в скорости создания проекта и качественной архитектурной визуализации.

- Архитектурно-дизайнерский пакет **ArfaCAD** (<http://www.viks-cad.ru/>), разработанный в России, позволяет оперировать цельными 2D- и 3D-объектами с архитектурно-строительной терминологией: стены, окна и двери, витражи, лестницы, кровли, перекрытия, ограждения, массивы грунта, воды и т.д.

- Программа **Allplan** (<http://www.nemetschek.com/>) немецкой фирмы Nemetschek - это программное решение для всех фаз жизненного цикла строительного проекта: с самого раннего наброска от руки до проектной документации. Allplan, основанный на объектно-ориентированной базе простых 3D-объектов, создает и поддерживает взаимосвязь между 2D- и 3D-чертежами, разрезами, проекциями и т.д. Все эти виды - просто различные представления одних и тех же трехмерных объектно-ориентированных данных. В работе возможно использовать тот вид или виды, которые наилучшим образом подходят к особенностям стиля или привычкам конкретного пользователя. Allplan разработан специально для профессионалов в области именно строительного проектирования.

- **APM Civil Engineering** (<http://www.apm.ru/>) - CAD/CAE система автоматизированного проектирования строительных объектов гражданского и промышленного назначения. Эта система в полном объеме учитывает требования государственных стандартов и строительных норм и правил, относящиеся как к оформлению конструкторской документации, так и к расчетным алгоритмам.

- Современные фасады - это настоящие HighTech-конструкции. Тот, кто проектирует и возводит фасады, должен считаться со статикой, термическими условиями и архитектурными аспектами. **ATHENA** (<http://www.cad-plan.com/>) не без основания является ведущей конструкторской программой для проектирования металлических и фасадных конструкций. Уже более 20 лет программа постоянно

развивается и успешно применяется в металлоперерабатывающих фирмах, инженерных центрах и профессиональных учебных заведениях. ATHENA наиболее точно соответствует требованиям пользователя и является комплексным программным пакетом, содержащим все, что может облегчить задачи конструктора в его каждодневной работе.

- **Bocad-3D** (<http://www.bocad.ru/>) - мощная пространственная CAD-система проектирования стальных и деревянных конструкций. Данная CAD-система представлена на рынке программных продуктов уже более чем 15 лет. При этом происходит постоянный процесс совершенствования системы в соответствии с пожеланиями конструкторов.

- **BricsCad Pro** ([www.brics-cad.ru](http://www.brics-cad.ru/)) - отличный выбор для архитекторов, инженеров, конструкторов и для всех, кто создаёт или использует чертежи САПР. BricsCad обеспечивает непревзойдённую совместимость с AutoCAD, а также делает возможным применение сотен программ, разработанных третьими фирмами. Любой человек, хорошо знакомый с AutoCAD, может сразу начать работу с BricsCad, без какого-либо обучения. Удобные возможности визуальной настройки пользовательского интерфейса, а также поддержка файлов AutoCAD, пользовательских меню, панелей инструментов, сценариев, снимков.

- Система автоматизированного проектирования **BtoCAD** (<http://www.btocad.ru/>) разработана специально для инженеров, конструкторов и всех специалистов, работающих с CAD-приложениями. Технология, положенная в основу BtoCAD, позволяет осуществить полноценную поддержку формата DWG. Главной особенностью BtoCAD, по сравнению с остальным САПР приложениями является его неприхотливость к аппаратной составляющей компьютера. Системные требования программы подобраны таким образом, что BtoCAD можно запускать даже на проверенных временем компьютерах, а в купе с ценной BtoCAD представляет собой одним из самых выгодных предложений на текущем рынке САПР приложений.

- **CADdy** (<http://www.caddy.de/>) (немецкая фирма ZIEGLER-  
Informatics GmbH) по функциональным возможностям занимает промежуточное положение между системами низкого и высокого уровней. Предназначена для решения комплексных интегрированных технологий от стадии проектирования до стадии производства. В настоящее время в состав CADdy входит свыше 80 модулей, охватывающих такие направления, как архитектура, строительство, геодезия, машиностроение, картография и городское планирование.

- Система **CATIA** (<http://www.catia.ru/>) (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) - одна из самых распространенных САПР высокого уровня. Это комплексная система автоматизированного проектирования (CAD), технологической подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE), включающая в себя передовой инструментарий 3D моделирования, подсистемы программной имитации сложных технологических процессов, развитые средства анализа и единую

базу данных текстовой и графической информации. Система позволяет эффективно решать все задачи технической подготовки производства - от внешнего (концептуального) проектирования до выпуска чертежей и спецификаций.

- **DesignCAD 3D Max** (<http://www.designcad.com/>) - легкая в использовании программа для 2D/3D моделирования. В приложении заложена возможность создания презентаций, анимации и твердотельного моделирования. С помощью этого приложения можно проектировать механические детали, 3D модели объектов, двигатели, чертежи печатных плат и др., все зависит от Вашего воображения и креативности. DesignCAD 3D Max - это универсальный инструмент САПР для начинающих и продвинутых проектировщиков.

- **DraftSight** (<http://www.3ds.com/>) - открытое двухмерное решение САПР профессионального уровня для тех, кто хочет оптимизировать чтение, запись и обмен файлами DWG. DraftSight отличается простотой в использовании и занимает небольшой объем памяти.

- **Google SketchUp** (<http://www.sketchup.google.com/>) - простой и удобный инструмент для создания, обработки и презентации трёхмерных моделей. Позволяет быстро и качественно создавать практически любые построения различного уровня подачи - от драфт-эскиза, до готового проекта. Здания, мебель, интерьер, строительные сооружения и многое другое проектируется за считанные минуты. Кроме того, Google SketchUP предоставляет возможность создавать многостраничные документы и презентации; раскладывать и аннотировать множество масштабированных моделей на одной странице; создавать, документировать и делать презентацию проекта, используя один единственный чертёж.

- **GstarCAD** (<http://www.gstarcad.ru/>) - это программа для создания чертежей в формате DWG/DXF, ставшем общепринятым стандартом. Она является не только достойной заменой AutoCAD, но и по соотношению цена/качество отличной альтернативой распространенным российским и зарубежным <аналогам автокад> и САПР, таким как Bricscad, Vtocad, Nanocad, progeCAD, ZWCAD, Infracad. Благодаря применению в GstarCAD современных технологий производства систем проектирования, основанных на новейших разработках Open Design Alliance и ITC, САПР GstarCAD обеспечивает практически полную совместимость со всеми существующими САПР-системами и cad программами, использующими формат векторной графики DWG.

- **IronCAD** (<http://www.ironcad.com/>) - это профессиональная система самого последнего поколения. Представляет собой полнофункциональный инструмент для разработчиков, которые хотят эффективно использовать рабочее время. В программе используются как классические методы параметрического моделирования, так и инновационный метод прямого редактирования. Система IronCAD дает пользователю мощнейший инструмент для оформления чертежей, избавляет от необходимости экспортировать геометрию в какие-либо другие продукты

с потерей ассоциативной связи. По своим возможностям программа является достойным конкурентом таким САПР, как AutoCAD, SolidWorks, T-Flex, КОМПАС 3D, набирая быстрый ход распространения и приобретая своих поклонников и в России.

- **MicroStation** (<http://www.bentleysoft.ru/>) - это профессиональная, высоко производительная система для 2D/3D - автоматизированного проектирования при выполнении работ, связанных с черчением, конструированием, визуализацией, анализом, управлением базами данных и моделированием. Обеспечивает практически неограниченными возможностями проектировщиков и конструкторов на платформах DOS, Windows и компьютерах различных типов.

- **nanoCAD** (<http://www.nanocad.ru/>) - первая отечественная свободно распространяемая базовая САПР-платформа для различных отраслей. Разработкой занимались специалисты высокого уровня, зарекомендовавшие себя при разработке таких известных программ и приложений к AutoCad, как ElectriCS, MechaniCS, Project Studio, Spotlight и многих других. Платформа nanoCAD содержит все необходимые инструменты базового проектирования, а благодаря интуитивно понятному интерфейсу, непосредственной поддержке формата DWG и совместимости с другими САПР-решениями является лучшим выбором при переходе на альтернативные системы. У пользователей есть возможность обратиться за помощью или отправить запрос на доработку того или иного продукта и получить грамотную и профессиональную консультацию непосредственно от разработчика.

- **OmniCAD** (<http://www.omnicad.com/>) - Система 2D проектирования, черчения и 3D поверхностного моделирования.

- Система **T-FLEX CAD 11** (<http://www.tfex.ru/>) - новое эффективное средство для комфортной работы конструктора. Включает в себя средства 2D-черчения, 3D-проектирования, модули конечно-элементного и динамического анализа. В новой версии САПР T-FLEX CAD реализовано более 200 усовершенствований, предлагающих пользователю целый набор инструментов, недоступных в других программах сходного назначения.

- **Pro/ENGINEER** (<http://www.pro-technologies.ru/>) - является САПР верхнего уровня и охватывает все сферы проектирования, технологической подготовки производства и изготовления изделия. Широкий диапазон возможностей аппарата трехмерного моделирования, высокое качество получаемого результата и устойчивость его к последующим изменениям сделали Pro/ENGINEER одним из лидеров CAD/CAM/CAE систем, а наличие прямого доступа в систему поддержки жизненного цикла изделия Windchill PDMLink переводит Pro/ENGINEER в разряд PLM-систем.

- **TurboCAD** (<http://www.turbocad.com/>) - новейшее универсальное приложение для профессионального проектирования в формате CAD. Совмещенное 2D и 3D редактирование способно удовлетворить самых взыскательных пользователей. Полная мощь промышленного стандарта ACIS

совмещается с поверхностным моделированием. TurboCAD Professional поддерживает двадцать пять самых распространенных форматов файлов, таких как AutoCAD DWG/DXF, MicroStation DGN, IGEN, 3DS, STL и прочее. Имеется возможность экспортировать Ваши проекты в MTX, HTML, JPG. TurboCAD Professional включает реалистический рендеринг, 3D моделирование с оболочками и лофтингом, работу с файлами AutoCAD, обучающие программы, возможность работы с сетью Internet. TurboCAD полностью настраивается, совместим с Microsoft Office и содержит встроенный Microsoft's VBA. Приложение также содержит Software Development Kit и Visual Basic Macro Recorder.

- **VariCAD** (<http://www.varicad.com/>) - Система автоматизированного проектирования, главным образом предназначенная для инженерного проектирования. В дополнение к мощным инструментам 3D моделирования и 2D черчения, VariCAD содержит библиотеки стандартных механических деталей (ANSI, DIN) и все необходимые для них расчеты. Это всеобъемлющее CAD-решение позволяет проектировщикам быстро создавать, модифицировать и подсчитывать стоимость их моделей. Отличные характеристики, хорошая функциональность и простой, интуитивно понятный интерфейс.

- **ZWCAD** (<http://www.zwsoft.ru/>) - 2D/3D система автоматизированного проектирования и черчения компании ZWSOFT. ZwCAD - выбор для архитекторов, инженеров, строителей и других специалистов, работающих в CAD/CAM технологиях, для которых важно соответствие индустриальным стандартам, простота и привычность интерфейса AutoCAD, стандартный набор необходимых инструментов в рамках разумного бюджета. Удобство работы обеспечивается привычным интерфейсом и возможностью импортировать в ZwCAD меню, созданных в AutoCAD. Команды и кнопки, соответствующие командам и кнопкам AutoCAD, позволяют быстро приступить к работе, потратив минимум времени на переобучение.

- **SCAD Office** (<http://www.scadgroup.com/>) - система нового поколения, разработанная инженерами для инженеров и реализованная коллективом опытных программистов. В состав системы входит высокопроизводительный вычислительный комплекс SCAD версия 11.3, а также ряд проектирующих и вспомогательных программ, которые позволяют комплексно решать вопросы расчета и проектирования стальных и железобетонных конструкций. Система постоянно развивается, совершенствуются интерфейс пользователя и вычислительные возможности, включаются новые проектирующие компоненты.

- **КОМПАС** (<http://kompas.ru/>) - система автоматизированного проектирования, разработанная российской компанией <АСКОН> с возможностями оформления проектной и конструкторской документации согласно стандартам серии ЕСКД и СПДС. Существует в двух версиях: КОМПАС-График и КОМПАС-3D, соответственно предназначенных для плоского черчения и трёхмерного проектирования.



- Компания АСКОН объявляет о выходе новой версии системы автоматизированного проектирования для строительства КОМПАС-СПДС V12(<http://www.ascon.ru/>). В ее состав включены новые приложения и базы строительных элементов, скорость работы с насыщенными чертежами возросла в 10 раз. КОМПАС-СПДС - специализированный программный продукт для проектирования в сфере промышленного и гражданского строительства. Он предназначен для создания рабочей документации: чертежей, схем, расчетно-пояснительных записок. Инструменты системы четко ориентированы на нормативы, регламентирующие оформление строительных чертежей. КОМПАС-СПДС прост в освоении и помогает повысить качество выпускаемой документации, избежав при этом значительных затрат.

- **SolidWorks** (<http://www.solidworks.ru/>) - продукт компании SolidWorks Corporation, система автоматизированного проектирования, инженерного анализа и подготовки производства изделий любой сложности и назначения. Она представляет собой инструментальную среду, предназначенную для автоматизации проектирования сложных изделий в машиностроении и в других областях промышленности.

- **ANSYS** (<http://www.ansys.com/>) - универсальная программная система конечно-элементного (МКЭ) анализа, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет, является довольно популярной у специалистов в области компьютерного инжиниринга и КЭ решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций. Моделирование и анализ в некоторых областях промышленности позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа <проектирование - изготовление - испытания>.

- **Программный комплекс Лира** (<http://www.lira.com/>) является современным инструментом для численного исследования прочности и устойчивости конструкций и их автоматизированного конструирования. Одно из наиболее важных свойств этого пакета заключается в возможности расчета арматуры для железобетонных элементов (как плоских пластин, так и стержней) с учетом всевозможных загрузок и комбинаций усилий и различных воздействий.

- **Программный комплекс Мономах** (<http://www.lira.com/>) разработан для автоматизированного проектирования железобетонных конструкций многоэтажных каркасных зданий. Широкое использование в современном строительстве монолитно-каркасной технологии определило класс задач решаемых с помощью программ комплекса Мономах. За последние годы программный комплекс Мономах был оценен проектировщиками как незаменимый инструмент расчета конструкций жилых и общественных многоэтажных зданий из монолитного железобетона.

#### **Российские САПР**

- **ADEM** — САПР для конструкторско-технологической подготовки машиностроительных и металлообрабатывающих предприятий и

программирования оборудования с ЧПУ.

- AutomatiCS — программный пакет, производства компании CSoft Development, предназначенный для автоматизации проектирования, реконструкции и эксплуатации систем контроля и управления (КИПиА, АСУТП), учета энергии, цепей вторичной коммутации.

- bCAD — САПР по проектированию мебели, торгового оборудования и дизайну интерьеров. Существует также версия для инженерного проектирования и бесплатная студенческая версия

- DipTrace — САПР для проектирования печатных плат. В пакет включено четыре программы: *Schematic* — разработка принципиальных схем; *PCB Layout* — разводка плат, ручная и автоматическая трассировка; *ComEdit* — редактор корпусов; *SchemEdit* — редактор компонентов.

- ElectriCS — САПР, предназначенная для проектирования электрооборудования, применяемого в различных отраслях промышленности, производство компании CSoft Development.

- EnergyCS — предназначен для выполнения электротехнических расчётов при проектировании и эксплуатации электроэнергетических систем любой сложности, производство компании CSoft Development.

- GeoniCS — линейка профессиональных программных продуктов компании CSoft Development, предназначенных для специалистов в области геодезии, геологии, землеустройства, проектирования генпланов.

- IndorCAD — система проектирования автомобильных дорог компании ИндорСофт

- InfrasoftCAD — САПР на основе IntelliCAD от компании INFRASOFT

- КЗ — система твердотельного пространственного моделирования, разработанная нижегородскими учёными.

- КЗ-Коттедж — это комплекс компьютерных программ для проектирования деревянных домов из оцилиндрованного бревна и профилированного бруса.

- КЗ-Мебель — это комплекс компьютерных программ для производства и продажи корпусной мебели. КЗ-Мебель позволяет автоматизировать процесс приема заказов и подготовки производственных заданий.

- КЗ-Тент — комплекс компьютерных программ для проектирования тентовых конструкций, предоставляет конструктору предельно наглядный и наиболее эффективный инструментарий для работы с поверхностями любой сложности. При этом «КЗ-Тент» обеспечивает существенное сокращение сроков по нахождению формы оболочки, визуализации конечной конструкции, нанесение линий кроя и развертки кусков на плоскость.

- КЗ-Ship — это комплекс компьютерных программ для производства кораблей.

- MechaniCS — приложение к AutoCAD или Autodesk Inventor,

предназначенное для оформления чертежей в соответствии с ЕСКД и др., разработчик CSoft Development

- Mineframe — САПР для автоматизированного планирования, проектирования и сопровождения горных работ.

- Model Studio CS — первая российская линейка программных продуктов для трехмерного проектирования промышленных объектов. Каждый программный продукт линейки позволяет выполнять компоновочную задачу, автоматически выполняет расчеты, генерирует спецификации и чертежи. Распространяется на платной основе. Производство компанией CSoft Development.

- Model Studio CS ОРУ — программный продукт предназначен для разработки компоновочных решений в трехмерном пространстве открытых распределительных устройств, выполнения расчётов гибкой ошиновки, выпуска проектной и рабочей документации (чертежей, спецификаций и т. д.).

- Model Studio CS ЛЭП — программный продукт предназначен для расчета и выпуска комплекта документов при проектировании воздушных линий электропередачи всех классов напряжений на стадиях строительства, реконструкции и ремонта. Реализована уникальная система автоматического оформления документов.

- Model Studio CS Молниезащита — программный продукт предназначен для разработки проектов молниезащиты в трехмерном пространстве, выполнения расчётов зон молниезащиты, выпуска проектной и рабочей документации (чертежей, спецификаций и т. д.).

- Model Studio CS Трубопроводы — программный продукт предназначен для разработки компоновочных решений в трехмерном пространстве промышленных объектов и технологических установок, выпуска проектной и рабочей документации (чертежей, спецификаций и т. д.)

#### **Проектирования электрооборудования в энергетике.**

- NCTuner - система твердотельного моделирования для контроля и окончательной настройки управляющих программ для станков с ЧПУ

- NormCAD - программа для расчетов по строительным нормам (СНиП) с выводом отчетов с формулами

- Project Studio CS — линейка программ для архитектурно-строительного рабочего проектирования в среде AutoCAD, производство компании CSoft Development.

- Project Studio CS СКС

- Project Studio CS ОПС

- Project Studio CS Электрика

- Project Studio CS Водоснабжение

- Project Smeta CS — инструмент для составления смет на проектную документацию и изыскательские работы в строительстве.

- Raster Arts — растрово-векторная САПР и современная векторизация — для сканированных чертежей, планов, схем,

топографических и картографических материалов, производство компании CSoft Development.

- SimOne — пакет схемотехнического моделирования электронных схем. Разработчик — компания Эремекс.

- SprutCAM — профессиональное решение для разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ. На сегодняшний день это единственная российская разработка и одна из немногих среди зарубежных, поддерживающая в том числе разработку УП для многокоординатного токарно-фрезерного оборудования.

- TechnologiCS — специализированный программный продукт, предназначенный для использования на производственных предприятиях, производство компании CSoft Development.

- T-FLEX CAD — САПР (3D и 2D) для машиностроения. Разработчик — компания Топ-Системы. Первая в мире САПР с *геометрической параметризацией*.

- ТороR — САПР для проектирования печатных плат. Разработчик — компания Эремекс.

- WinELSO — САПР для проектирования систем силового электрооборудования и электроосвещения, разработка фирмы «Русская промышленная компания».

- БАЗИС (САПР) — комплексная автоматизация проектирования технологической подготовки производства и реализации корпусной мебели.

- ИДЕАЛ-А — бесплатная программная оболочка для AutoCAD, предназначена для быстрого трёхмерного моделирования деталей и автоматизации получения чертежей. разработчик — компания «Инженерное Дело».

- КОМПАС — распространённая САПР компании АСКОН в вариантах для двухмерного и трехмерного проектирования.

- СПЛИТ — Система проектирования линейного транспорта, программный комплекс, разработанный компанией «НЕОЛАНТ» и предназначенный для автоматизации процесса проектирования при новом строительстве, реконструкции и капитальном ремонте линейной части надземных/подземных, магистральных/промысловых нефте- и газопроводов, линий электропередач.

- САПР «Сударушка» — CAD/CAM/CAE система. Является развитием системы ГЕМОС (геометрическое моделирование обводов самолета), разработанной специалистами российской авиапромышленности в ОКБ им. А. С. Яковлева в 1989—1994 гг.

- САПР-ЧПУ — САПР для проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ компании «Евразия Лимитед».

- СПДС GraphiCS — приложение к AutoCAD, Autodesk Architectural Desktop, AutoCAD Architecture, предназначенное для разработки проектно-технической документации в строгом соответствии с требованиями СПДС, разработчик компания CSoft Development.

- САПР НТ "NORMA" — система автоматизированного

проектирования норм труда (ОАО «КНИАТ»). Расчёт режимов резания и норм времени для механообрабатывающего производства (включая станки с ЧПУ и их многостаночное обслуживание). Расчёт норм времени сварочного, гальванического производств. Расчёт норм времени изготовления специальных приспособлений, штампов холодной и горячей штамповки, режущего и мерительного инструмента.

- **Среда моделирования MAPS** — российская система автоматизированного моделирования физически неоднородных технических устройств и систем MAPS (Моделирование и автоматический расчет систем), основанная на универсальном методе компонентных цепей. Позволяет моделировать процессы, протекающие в кинематических, механических, электрических, электронных, электромеханических, электроэнергетических, физико-химических системах и устройствах.

- **СПРУТ** — интегрированная метаинструментальная языковая среда «СПРУТ» (Система Проектирования Универсальных Технологий). Среда для создания сквозных САПР по принципу RAD-технологии (RAPID APPLICATION DEVELOPMENT TOOLS).

- **СПРУТ-ОКП** — MES система оперативно-календарного планирования, диспетчеризации и контроля производственного процесса на предприятии.

- **СПРУТ-ТП** — CAPP система проектирования и нормирования технологических процессов для любых типов производств.

#### **Информационно-справочные системы**

- **NormaCS** — информационно-справочная система, содержит нормативно-техническую документацию, действующую на территории РФ.

- **Техэксперт** — информационно-справочная система, содержит нормативную-техническую документацию, действующую на территории РФ.

- **TDMS** — система, предназначенная для управления информационными потоками и электронной документацией проектных, конструкторских, производственных организаций и любых других предприятий, в работе которых используются технические данные и создаваемые на их основе документы: чертежи, планы, схемы, спецификации, ведомости и т. п, производство компании CSoft Development.

- **ADEM i-Ris** — информационно-справочная система, содержит нормативную-техническую документацию для конструкторско-технологической подготовки машиностроительных и металлообрабатывающих производств.

#### **САПР нероссийских разработчиков**

#### **Бесплатные САПР разработчиков разных стран с открытым исходным кодом**

- **BRL-CAD** — открытая 3D система проектирования;
- **FreeCAD** от Aik-Siong Koh (A-S. Koh);
- **FreeCAD** от Юргена Райгеля (Jürgen Riegel) — открытая 3D система проектирования;

- **QCAD** — открытая 2D система проектирования;

- SALOME — Открытая модульная система 3D проектирования;
- Electric — проектирование интегральных схем и электропроводки;
- KiCad — Комплекс для проектирования электронных схем и печатных плат.

#### **Бесплатные проприетарные САПР**

- Medusa4 — система автоматического проектирования, бесплатная лицензия для частного пользования.
- DraftSight — Бесплатная САПР для Windows, Mac и Linux от Dassault Systèmes.

#### **Платные САПР разработчиков разных стран**

- 3design CAD — САПР для ювелирного и графического дизайна.
- Интермех
  - Cadmec — универсальная САПР в области машиностроения и приборостроения, расширяющая функциональные возможности AutoCAD, Inventor, NX, Solid Edge, Pro/ENGINEER, SolidWorks.
  - CADElectro - САПР для проектирования электрооборудования.
  - НПП «Техникон»
  - CADElectro Energy — новая версия САПР на собственной графической платформе, с интеграцией с ERP, большой базой УГО, автоматизацией типовых задач проектирования и оформления конструкторской документации, а также контролем ошибок.
  - Интех-Раскрой САПР ТП — САПР для автоматизации технологии раскроя листового металла.
  - Эксперт-СКС — САПР для автоматизации на всех этапах проектирования структурированных кабельных систем, ВОЛС, ЛВС, линейных и магистральных сетей.
  - Aldec Active-HDL и Riviera — продукты для ввода, моделирования и верификации проектов на языках VHDL, Verilog, SystemVerilog, SystemC.
  - Altium
    - Altium Designer — комплексный пакет разработки электронных систем
    - P-CAD — САПР для проектирования электронных устройств
    - Allplan BIM — САПР комплексного проектирования, проектирование всех разделов в одной системе.
    - ANSOFT — САПР электроники, электромеханики, систем питания, управления, связи и радиолокации.
    - ArchiCAD — САПР для архитектуры компании Graphisoft.
    - Autodesk
      - AutoCAD — самая распространённая САПР не российского производства.
      - Autodesk Inventor — система трехмерного твердотельного проектирования для разработки сложных машиностроительных изделий.

- Autodesk Revit — система трехмерного архитектурного и строительного проектирования.
- Vocad-3D — модульный программный комплекс для разработки чертежей, узлов и схем металлических и деревянных конструкций в трехмерном пространстве. Основной задачей Vocad-3D является детализация чертежей и спецификаций на стадиях КМ и КМД.
  - BtoCAD — базовая САПР на основе IntelliCAD с форматом DWG и интерфейсом AutoCAD
  - Cadence
    - Allegro (САПР) — тяжелая САПР для проектирования электронных устройств
    - OrCAD — САПР для проектирования электронных устройств
    - Specctra — трассировщик печатных плат
    - Dassault Systèmes
    - 
    - CATIA — САПР для аэрокосмической промышленности
    - SolidWorks — универсальная САПР для машиностроения
    - Dietrichs — немецкий САПР/САМ для деревянных построек
    - E3.series — САПР для Электротехники и АСУТП
    - Electric — проектирование интегральных схем и электропроводки.
    - EPLAN — Мировой лидер в области САПР для Электротехники и АСУТП
    - Foran — специализированная судостроительная система автоматизированного проектирования, разработанная фирмой SENER для проектирования и строительства коммерческих и военно-морских судов.
    - GstarCAD — САПР на основе IntelliCAD, максимально приближенная к прежнему интерфейсу AutoCAD.
    - IntelliCAD — DWG-совместимая платформа для САПР. Разрабатывается международным консорциумом IntelliCAD Technology Consortium. Служит платформой для многих САПР, таких как BricsCAD, BtoCAD, CADian, InfrasoftCAD, GstarCAD, ProgeCAD, ZwCAD и других
      - IronCAD
        - Ironcad — Профессиональная система трехмерного твердотельного моделирования и конструирования, а также полнофункциональный 2D CAD. Выделяется среди конкурентов рядом уникальных инструментов. Имеет встроенный рендер.
          - Inovate — Система для трехмерного моделирования и визуализации. В отличие от IronCAD нет функций создания чертежей и работы с листовым металлом.
          - Ironcad Draft — Инструмент для двухмерного проектирования, с привычным графическим интерфейсом пользователя и уникальными интегрированными возможностями работы с 3D данными.
          - Magics — САПР для быстрого прототипирования

- MicroStation — универсальная САПР компании Bentley Systems (офф. сайт), первоначально созданная по технологиям Intergraph Corporation. Основа многочисленных программных решений для: ГИС, геодезии, картографии, земельного кадастра, инженерных сетей, проектирования электроники, архитектуры, строительства мостов, автодорог, зданий и сооружений, проектирования промышленных предприятий и заводов, машиностроения, дизайна интерьеров и пр. Основные форматы: DGN и DWG. Есть бесплатные версии.

- [Morgan MD CAD] — инновационная САПР для конструирования одежды, включающий полный спектр программных продуктов и инструментов для оцифровки лекал, создания эскизов и проектирования моделей, градации лекал, автоматической раскладки и проч., 3D-моделирования.

- Parametric Technologies Corp. (PTC)

- Pro/Engineer — универсальная САПР для промышленных компаний

- MathCAD — интегрированная система решения математических, инженерно-технических и научных задач

- Proteus — САПР проектирования электронных устройств и печатных плат.

- Rhinoceros 3D — универсальный САПР для промышленного дизайна

- Siemens PLM Software

- NX — CAx система для различных отраслей промышленности, одна из немногих в полной мере поддерживающая «прямое» не параметрическое моделирование;

- Solid Edge — 2D/3D CAD-система, разработанная Intergraph Corporation в рамках проекта Jupiter, привнесшего в ПО новый уровень интерактивности (интеллектуальный курсор, прямая работа с разными форматами без импорта/экспорта и пр.). Есть бесплатные версии.

- SmartSketch — 2D CAD-система с инновационным пользовательским интерфейсом, разработанная корпорацией Intergraph в рамках проекта Jupiter, привнесшего в ПО новый уровень интерактивности (интеллектуальный курсор, прямая работа с разными форматами без импорта/экспорта и пр.). Некоторое время поставлялась Microsoft в пакете дополнительного ПО Plus! для Windows. «Младший брат» системы Solid Edge. Основное назначение — быстрые наброски чертежей, создание диаграмм, схем, офисные оформительские работы. Содержит большое количество готовых компонентов графики для самых разных областей.

- TurboCAD — универсальная САПР для архитекторов и конструкторов.

- ZwCAD — одна из САПР на основе IntelliCAD

- Mastercam - мощная система для токарных и фрезерных 3D работ.

- Medusa4 — система автоматического проектирования, бесплатная лицензия для частного пользования, коммерческая лицензия,



лицензия за коммерческое использование — «Платёж за единичное коммерческое использование»

- [JULIVI] — Система конструирования и моделирования одежды.
- Tebis - универсальная комплексная САПР для моделирования, обработки и измерений

По перечню указанных выше программ можно видеть, что направление в строительной отрасли, а именно той части, которая относится к архитектуре и собственно проектированию зданий и сооружений, развивается очень динамично. В этом обзоре не рассмотрены многочисленные программы по организации строительного производства, планированию работ, электрических расчетов, программ оптимизации транспортных задач, расчетов сетевых графиков и календарных планов, проектирование дорог, геодезических расчетов, технологического проектирования трубопроводов и многое другое. Они представлены на российском рынке как иностранными, так и отечественными производителями и решают широкий круг задач в своих областях.

Строительство всегда развивалось в ногу с научно-техническим прогрессом, но совершенствование программных средств далеко опережает квалификацию специалистов, призванных использовать их в своей работе. Сегодня часто наблюдается картина, когда современные и многофункциональные комплексы простаивают или используются незначительно из-за низкого уровня подготовки пользователей.

Другая проблема заключается в использовании пиратских копий программных продуктов. В этом случае пользователи лишают себя любой технической поддержки со стороны разработчиков: нет регулярного обновления программ, технической документации и квалифицированного обучения. Покупая нелегальное программное обеспечение, пользователи лишают финансовой поддержки разработчиков, что в свою очередь тормозит развитие программ.

Указанные выше проблемы развития САПР могут быть причиной неправильного подбора программных средств автоматизации. Без предварительного исследования предприятия и квалифицированной помощи специалистов невозможно правильно выбрать программные средства, которые не только бы решали поставленные задачи, но и обеспечивали полную комплексную автоматизацию. В противном случае, вложение средств в автоматизацию может обернуться простым программ или только решением очень узких задач на предприятии.

Перспективой развития САПР, кроме решения указанных проблем, является тесная интеграция с программами смежных направлений. Суть этого процесса заключается, например, во взаимосвязи между чертежными и расчетными программами. Если после проектирования здания необходимо рассчитать смету, передать данные в бухгалтерскую программу или произвести расчет каких-либо конструкций, программы должны быть взаимосвязаны. Такая интеграция позволит автоматизировать в едином информационном пространстве все стадии строительства и проектирования.

## **Метрология, стандартизация и сертификация**

**Метрология** - (от греч. μέτρον - мера, + др.-греч. λόγος - наука) - наука о количественных измерениях в рамках понятия аддитивной меры, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Предметом метрологии является извлечение количественной информации о свойствах объектов с заданной точностью и достоверностью; нормативная база для этого - метрологические стандарты.

В отличие от теории (качественных) измерений метрология не занимается ранговыми, порядковыми мерами и иными качественно-логическими способами обработки информации. Ее теоретико-информационный базис основан на теории меры и интеграла, где под мерой подразумевают узкий класс аддитивных мер, то есть таких мер, в которых выполняются арифметические законы: сложение, вычитание, деление, умножение, возведение в степень и извлечение из степени и др. Это позволяет получать инвариантные (неизменные и однозначные) результаты измерений вне зависимости от его способов (порядка измерений, способов деления измеряемой области и пр.)

Метрология состоит из следующих основных разделов:

**Историческая метрология** - историческая дисциплина, изучающая употреблявшиеся в прошлом разными народами меры (длины, площади, объема, веса) в их историческом развитии. Задача метрологии - выяснение названий мер, их количеств. соотношений, установление их реальной величины, т. е. соответствия их современным метрическим мерам.

**Теоретическая метрология** - теоретическая наука, рассматривающая общие теоретические проблемы количественных измерений (разработка теории и проблем измерений физических величин, их единиц, методов измерений).

**Прикладная метрология** - экспериментальная, практическая наука, изучающая вопросы практического применения разработок теоретической метрологии. В её ведении находятся все вопросы метрологического обеспечения.

**Законодательная метрология** - общественная наука, Устанавливает обязательные технические и юридические требования по применению единиц физической величины, методов и средств измерений.

В метрологии имеются отдельные специализированные направления, такие как:

- авиационная метрология,
- химическая метрология,
- медицинская метрология,
- биометрия (биологическая метрология).

Цели и задачи метрологии состоят в следующем:

- создание общей теории измерений;
- образование единиц физических величин и систем единиц;
- разработка и стандартизация методов и средств измерений, методов определения точности измерений, основ обеспечения единства

измерений и единообразия средств измерений (так называемая "законодательная метрология");

- создание эталонов и образцовых средств измерений, поверка мер и средств измерений. Приоритетной подзадачей данного направления является выработка системы эталонов на основе физических констант.

Также метрология изучает развитие системы мер, денежных единиц и счёта в исторической перспективе.

Основные законы метрологии:

- любое измерение есть сравнение;
- любое измерение без априорной информации невозможно;

**результат любого измерения без округления значения является**

### **Термины и определения метрологии**

**Единство измерений** - состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимым первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

**Физическая величина** - одно из свойств физического объекта, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. Измерение - совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения измеряемой величины с ее единицей и получения значения этой величины.

**Средство измерений** - техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные метрологические характеристики.

**Поверка** - совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерения метрологическим требованиям.

**Погрешность измерения** - отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

**Погрешность средства измерения** - разность между показанием средства измерений и действительным значением измеряемой физической величины.

**Точность средства измерений** - характеристика качества средства измерений, отражающая близость его погрешности к нулю.

**Лицензия** - это разрешение, выдаваемое органам государственной метрологической службы на закрепленной за ним территории физическому или юридическому лицу на осуществление ему деятельности по производству и ремонту средств измерения.

**Эталон единицы величины** - техническое средство предназначенное для передачи, хранения и воспроизведения единицы величины.

Исторически важные этапы в развитии метрологии:

- XVIII век - установление эталона метра (эталон хранится во Франции, в Музее мер и весов; в настоящее время является в большей степени историческим экспонатом, нежели научным инструментом);

- 1832 год - создание Карлом Гауссом абсолютных систем единиц;
- 1875 год - подписание международной Метрической конвенции;
- 1893 год - создание Д. И. Менделеевым Главной палаты мер и весов (современное название: "Научно-исследовательский институт метрологии им. Менделеева");
- 1960 год - разработка и установление Международной системы единиц (СИ);
- XX век - метрологические исследования отдельных стран координируются Международными метрологическими организациями.

Бурное развитие науки, техники и технологии в XX веке потребовало развития метрологии как науки. В СССР метрология развивалась в качестве государственной дисциплины, т.к. нужда в повышении точности и воспроизводимости измерений росла по мере индустриализации и роста оборонно-промышленного комплекса. Зарубежная метрология также отталкивалась от требований практики, но эти требования исходили в основном от частных фирм. Косвенным следствием такого подхода оказалось государственное регулирование различных понятий, относящихся к метрологии, то есть ГОСТирование всего, что необходимо стандартизовать. За рубежом эту задачу взяли на себя негосударственные организации, например ASTM. В силу этого различия в метрологии СССР и постсоветских республик государственные стандарты (эталон) признаются главенствующими, в отличие от конкурентной западной среды, где частная фирма может не пользоваться плохо зарекомендовавшим себя стандартом или прибором и договориться со своими партнёрами о другом варианте удостоверения воспроизводимости измерений.

- случайной величиной.

## **2. Практический раздел**

**Методическое пособие к курсовому проектированию по дисциплине  
«Основы конструирования и САПР»**

Министерство народного образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

---

Кафедра "Тепловые электрические станции"

**ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И САПР**

Методическое пособие

к курсовому проектированию по дисциплине

"Основы конструирования и системы  
автоматизированного проектирования" для

студентов специальности 10.05 -

"Тепловые электрические станции"

М и н с к 1 9 9 2

УДК 621.311.22 (0758); 681.332.6

И.Ф.Акулич, Н.В.Муновозчик, В.К.Балабанович, В.А.Чин

Данное издание является методическим пособием для выполнения курсового проекта по дисциплине "Основы конструирования и системы автоматизированного проектирования" студентами 3 курса специальности 10.05 - "Тепловые электрические станции", по дисциплине "Основы САПР ТЭС" - студентами 4 курса вечерне-заочного обучения специальности 10.07 - "Промышленная теплоэнергетика", а также других специальностей.

Рецензенты:

В.А.Седин, В.И.Щербач

© Белорусская государственная  
политехническая академия, 1992



## I. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Дисциплину "Основы конструирования и САПР" студенты специальности 10.05 - "Тепловые электрические станции" изучают на 3 курсе (5 семестр). Изучение дисциплины включает лекции, лабораторные работы, курсовой проект, индивидуальные занятия, экзамен.

К этому времени студенты изучили дисциплины: "Введение в специальность", "Высшая математика. Математические модели в расчетах на ЭВМ", "Вычислительная техника и программирование", "Гидрогазодинамика", "Материаловедение, технология материалов", "Прикладная механика (с выполнением курсового проекта)", "Теоретическая механика", "Техническая термодинамика", "Физика", "Химия". Изучение перечисленных дисциплин заложило основы общетехнических знаний студента.

Одновременно с изучением дисциплины "Основы конструирования и САПР" преподаются дисциплины: "Котельные установки и парогенераторы", "Металлы в теплоэнергетике", "Тепломассообмен", "Тепловые и атомные электрические станции и установки", "Физические и химические методы подготовки воды и топлива". Совместное изучение этих дисциплин расширяет технический кругозор и знания студента в конкретной, целенаправленной области - теплоэнергетике.

В пятом семестре студенты изучают дисциплину "Политэкономия", дающую знания общего подхода, законы развития экономики. Позже, в шестом семестре, это конкретизируется в дисциплине "Экономика производства", на четвертом курсе в дисциплине "Организация и планирование производства, управление предприятием". Конструирование любого элемента ТЭС непременно должно обосновываться экономически, поэтому в дисциплине "Основы конструирования и САПР" даются краткие основы технико-экономического обоснования.

В шестом семестре студенты изучают дисциплину "Метрология, стандартизация, управление качеством". Конструирование любого элемента ТЭС предполагает соблюдение государственных и отраслевых стандартов, межведомственных нормативов, норм расчетов, которые широко используются при выполнении курсового проекта по дисциплине "Основы конструирования и САПР".

## 2. ЦЕЛЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В проектировании тепловых и атомных электростанций значительное место занимает проектирование трубопроводных систем. Трубопроводные системы являются транспортными магистралями различных сред (пар, вода, масло и др.) при различных температурах и давлениях. От грамотного конструирования этих систем во многом зависит надежность работы тепловых электростанций, тепловых сетей.

Цель курсового проекта – систематизация знаний по расчету и проектированию трубопроводных систем с применением прикладной программы "АСТРА", закрепление знаний и приобретение навыка проектирования технологических коммуникаций на тепловых электростанциях и в тепловых сетях.

## 3. ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Руководитель курсового проекта выдает студенту задание на проектирование, в котором указывается тема курсового проекта, исходные данные, содержание пояснительной записки и чертежей, сроки выдачи и защиты курсового проекта.

В период проектирования студент принимает технические решения, производит необходимые расчеты, аккуратно и грамотно изготавливает требуемые схемы и чертежи, консультируясь с руководителем по неясным вопросам. Описание конструируемого элемента, расчетные формулы с пояснениями, необходимые расчеты и схемы студент представляет в пояснительной записке, которую за 7-10 дней до защиты вместе с чертежами дает на проверку руководителю.

Курсовой проект студент защищает перед комиссией. К защите представляет пояснительную записку и чертежи, подписанные руководителем. По результатам защиты курсового проекта комиссия выставляет оценку в ведомость и зачетную книжку студента.

## 4. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКЕ

Пояснительную записку выполнять на одной стороне листа писчей бумаги формата А4 (297x210) четким почерком.

Текст делить на разделы и подразделы. Каждый раздел поясни-

тельной записки начинать с нового листа (страницы), нумеровать арабскими цифрами с точкой. Наименование разделов записывать прописными (большими) буквами посередине страницы. Номер подраздела зависит от номера раздела, например, 2.1 (первый подраздел второго раздела). Наименование подраздела записывать с абзаца строчными (малыми) буквами (первая – прописная)).

Переносы слов в заголовке не допускаются. Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Расстояние между заголовком и последующим текстом – 10 мм.

В начале пояснительной записки помещать содержание, которое включается в общее количество страниц. В конце пояснительной записки привести перечень литературы, нормативно-технической и другой документации, которая была использована при ее составлении.

Титульный лист пояснительной записки (с. 1 – не нумеруется) оформляется, как приведено в прил. I. Второй лист – задание (бланк). Третий – содержание. Каждый последующий лист записки оформлять так: оставлять свободными 25 см – слева; по 15 см – сверху и снизу; 10 см – справа. Страницы пояснительной записки нумеровать арабскими цифрами в правом верхнем углу страницы.

Оформление штампов на чертежах (схемах) смотри в прил. 2.

## 5. ВЫПОЛНЕНИЕ ОСНОВНОЙ НАДПИСИ И ПЕРЕЧНИ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЧЕРТЕЖАХ (СХЕМАХ)

Чертеж (схему) выполнять на формате 841x594 мм.

Основные надписи располагать в правом нижнем углу чертежей или схем. Содержание, расположение и размеры граф основных надписей представлены на рис. III (прил. 2). Основные надписи, дополнительные графы к ним, рамки выполнять сплошными основными и сплошными тонкими линиями.

Порядковые номера элементам (устройствам) на чертежах (схемах) присваивать, начиная с единицы в соответствии с последовательностью расположения элементов (устройств) сверху вниз в направлении слева направо. Позиционные обозначения на чертежах (схемах) проставлять рядом с условными графическими обозначениями элементов с правой стороны или над ними. Данные об элементах (устройствах)

записывать в перечень элементов (рис. П2, прил. 2) путем обозначения позиций.

Перечень элементов помещать над основной надписью чертежа (схемы). Расстояние между перечнем элементов и основной надписью — не менее 12 мм. Продолжение перечня элементов помещать слева от основной надписи, повторяя головку таблицы. Допускается выполнение перечня элементов в виде самостоятельного документа на формате А4.

## 6. ТЕМА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Тема курсового проекта "Расчет и конструирование трубопроводных систем".

Трубопроводные системы представляют собой объединение труб с помощью различных соединений (сварных, фланцевых, резьбовых, отводов, переходов, тройников и т.д.).

На ТЭС трубопроводы служат для транспортировки различных сред: рабочего тела (пар на паротурбинных ТЭС, АЭС); газа (на газотурбинных ТЭС; на ТЭС, использующих газ в качестве топлива и т.д.); теплоносителя (пар, вода), топлива (мазут), масла, воздуха, кислот и щелочей (кислой или щелочной воды на АВО) и т.д. Средства транспортируются под различным давлением (его создают насосы, компрессоры) — от 0,1 до 25 МПа при различной температуре — от 5 до 580°C; на различные расстояния — от 1 до 4 тыс. м и больше.

При проектировании (конструировании) трубопроводов поэтому учитываются различные факторы:

свойства среды определяют марку стали. Например, для воды, пара — коррозионноустойчивые стали; для кислот — кислотоупорные и т.д.;

давление определяет марку стали и толщину стенки трубопровода; температура и расстояния определяют марку стали, трассировку трубопроводных систем (тип соединения труб, необходимые опоры).

Следовательно, компетентное проектирование трубопроводных систем должно обеспечить надежную работу трубопроводов, трубопроводных систем и в целом ТЭС.

Различают три взаимосвязанных вида расчета трубопроводов:

в) гидравлический расчет. Цель — определение диаметра трубопроводов;

б) механический расчет. Цель – определение толщины стенки, выбор способа компенсации термических расширений и типа компенсатора;

в) тепловой расчет. Цель – определение толщины тепловой изоляции.

Последовательность гидравлического расчета трубопровода:

определение предварительного внутреннего диаметра трубы ( $D_B$ ) для заданного расхода ( $Q$ ) при допустимой скорости среды ( $\omega$ );

выбор по сортаменту марки стали и размеров трубы ( $D_y$  – условного прохода;  $D_H \times S$  – наружного диаметра и толщины стенки;  $D_B$  – внутреннего диаметра);

гидродинамический расчет трубопровода выбранного диаметра, т.е. определение потерь давления ( $\Delta p$ ) при заданных конфигурации, диаметре, расходе, в также определение пропускной способности трубопровода. Сопоставление полученных данных с заданными;

уточнение диаметра трубы и повторный гидродинамический расчет, если результат не удовлетворяет заданным условиям. Гидродинамический расчет проводится методом последовательных приближений с помощью ЭВМ, так как количество итераций значительно, и ручной расчет непродуктивен.

Расчет на прочность деталей и элементов трубопроводов производится с целью определения толщины стенок и габаритных размеров в зависимости от давления и температуры среды. Расчет трубопроводов ведется по нормам расчета [1-3], сосудов и аппаратов – по [4]. В теплоэнергетике, где в основном применяются пластичные материалы, используется метод расчета прочности по предельным нагрузкам ( $P^*$ ).

При тепловом расчете определяют толщину основного слоя тепловой изоляции, исходя из условий:

соблюдение определенных норм потерь тепла (преимущественно);

поддержание заданной температуры на поверхности изоляционной конструкции;

обеспечение максимально допустимого падения температуры теплоносителя;

соблюдение определенных габаритов и массы теплоизоляционных конструкций.

При выполнении курсового проекта студенты выполняют следующие расчеты:

1. Предварительный выбор марки стали и диаметров труб:  
внутреннего  $D_B$ ;  
условного прохода  $D_y$ ;  
наружного  $D_H$ .
2. Расчет толщины стенки  $S$  и уточнение марки стали и размеров трубы по сортаменту труб при заданных параметрах среды ( $\rho$  и  $t$ ).
3. Окончательный расчет на прочность и самокомпенсацию трубопроводной системы с применением прикладной программы "АСТРА" на ЭВМ.

## 7. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММЫ "АСТРА"

Программа "АСТРА" широко применяется при проектировании трубопроводных систем ТЭС и АЭС, конструктивных изменениях трубопроводных систем. "АСТРА" позволяет с помощью ЭВМ произвести расчет трубопроводов и их систем на прочность и самокомпенсацию, т.е. определение возникающих сил и напряжений. Каждый из трубопроводов ТЭС, АЭС работает в широком диапазоне режимов - давлений, температур, расходов. Трубопроводная система воздействует на оборудование, к которому присоединяется. Программа "АСТРА" позволяет производить расчеты трубопроводов и их систем в следующих режимах:

- холодное состояние, т.е. прочность трубопроводов при монтаже, при максимальном пробном давлении при гидравлическом испытании;
- процесс нагревания трубопровода;
- горячее состояние при максимальных параметрах среды;
- процесс охлаждения.

Программа увязана с объемным информационным обеспечением - банком данных по трубопроводам, опорам, стандартам и другой информации.

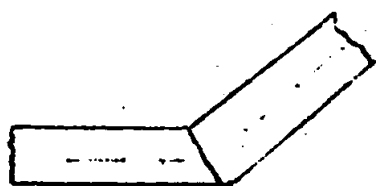
В результате расчета выдаются данные по напряжениям на отдельных участках трубопроводных систем, которые проектировщик (конструктор) анализирует, сравнивает с допустимыми и принимает окончательное решение о надежности исследуемой трубопроводной системы. "АСТРА" позволяет также произвести выбор пружин для пружинных (упругих) опор, определить нагрузки на них в холодном и рабочем состояниях, установить степени затяжек пружин при монтаже и осадку их в рабочем состоянии.

При подготовке трубопроводной системы к расчету программе "АСТРА" необходимо усвоить ряд понятий:

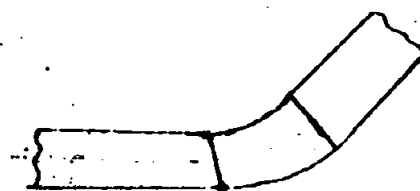
Н.О. – неподвижная опора;

У.О. – упругая (пружинная) опора;

С е ч е н и е – местонахождение упругих, скользящих опор, точки приложения сосредоточенных сил, точки присоединения труб к задвижкам (с обеих сторон задвижки), присоединение прямых участков к отводам (с обеих сторон изогнутой трубы), так как присоединение прямых участков при повороте производится с помощью отводов, изогнутых труб. Радиус отвода равен диаметру  $D_H$ . Пример поворота трубы на рис.7.1.



неправильно



правильно, с помощью изогнутой трубы (отвода)

Рис. 7.1. Схема поворота трубы

О т р е з о к – часть трубопровода между соседними сечениями.

У з е л – место разветвления трубопровода.

Ц и к л н а г р у ж е н и я т р у б о п р о в о д а – периодически повторяющийся режим его работы, включающий нагрев, эксплуатацию при постоянной температуре и отключение с полным охлаждением. Следовательно, количество (число) циклов равно числу включений трубопровода в работу из холодного состояния или числу отключений его на длительное время.

Д о п у с к н а у т о н е н и е  $S_1$  – прибавка, компенсирующая минусовое отклонение по толщине стенки трубы, а также утонение при штамповке или гибке.

Для выполнения расчетов на ЭВМ необходимо заполнять специальные бланки задания установленной формы, с которых оператор вводит данные в ЭВМ. Результаты расчета выдаются в виде таблиц с необходимыми текстовыми пояснениями.

## 8. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Дано:

Тип ТЭС: КЭС или ТЭЦ.

Расход среды  $Q$  (в энергетике  $D$  – для пара;  $G$  – для воды).

Параметры среды (давление  $p$ , температура  $t$ ).

Трасса трубопроводной системы (длина и направление труб).

Местонахождение, размеры и вид задвижек.

Расположение и тип опор, их некоторые характеристики.

Стандарт для выбора (МВН или ОСТ).

Точки приложения, величины и направления сосредоточенных сил.

Температура монтажа (холодное состояние) трубопровода  $t_0=20^\circ\text{C}$ .

Расчетный срок работы (службы) трубопровода  $T$  или  $\tau$ .

Требуется:

Выборить материал, диаметры и толщину стенок труб, произвести расчет трубопровода на прочность и самокомпенсацию с помощью программы "АСТРА" на ЭВМ, проанализировать результаты.

## 9. МЕТОДИКА ИСПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

### 9.1. Предварительный выбор марки стали и диаметров трубопроводной системы

Средой является пар или вода: какая именно, определяет студент по данному давлению  $p$  и температуре  $t$  с помощью термодинамических таблиц [7,8]. Там же он находит удельный объем  $v$ . Местную скорость среды  $\omega = \omega_{\max}$  принять по прил.4.

Используем уравнение неразрывности:

$$Gv = F\omega,$$

где  $F$  – площадь сечения трубы,  $\text{м}^2$ ;

$\omega$  – скорость среды,  $\text{м/с}$ .

Предварительный внутренний диаметр трубы,  $\text{м}$ :

$$D_B = \sqrt{\frac{4 \cdot Gv}{\pi \omega}} = \sqrt{1,273 \frac{Gv}{\omega}},$$

где  $G$  – расход среды,  $\text{кг/с}$ ;

$v$  – удельный объем среды,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;

$\omega$  – скорость движения среды,  $\text{м/с}$ .



По найденному  $D_B$  находится ближайшее большее значение условного прохода  $D_y \geq D_B$  по табл.3.3; 3.4 [5] или из стандартного ряда по табл.9.1.

Т а б л и ц а 9.1

Стандартный ряд условных проходов трубопроводов, $D_y$ , мм												
50,	100,	150,	200,	300,	400,	500,	600,	700,	800,	1000,	1200	

Затем по условному проходу  $D_y$  определить наружный диаметр  $D_H$  по табл.3.3, 3.4 [5] или в соответствии с табл.9.2.

Т а б л и ц а 9.2

Соотношение условных проходов  $D_y$  и наружных диаметров трубопроводов

$D_y$ , мм	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	1000	1200
$D_H$ , мм	57	108	159	219	325	426	530	630	720	820	1020	1220

Из табл.3.3, 3.4 [5] уточнить марку стали трубопровода.

## 9.2. Расчет толщины стенки трубы

Напряжения, возникающие в металле трубопроводов, определяются в основном внутренним давлением. Дополнительно при расчете учитываются нагрузки от самокомпенсации тепловых напряжений, собственной массы труб, массы содержащегося в трубах теплоносителя, массы тепловой изоляции.

Поэтому предварительно определяем номинальную толщину стенки трубы  $S$ , исходя из наличия внутреннего давления  $p$ , создающего растягивающее усилие:

$$\sigma_{\varphi} = \frac{\rho_{\text{изб}} D_H}{2S},$$

где  $\sigma_{\varphi}$  - среднее окружное напряжение от внутреннего давления, кгс/см<sup>2</sup>;

$\rho_{\text{изб}} = p_{\text{раб}} - I$ , кгс/см<sup>2</sup>;

$p_{\text{раб}}$  - рабочее давление среды, кгс/см<sup>2</sup> (дано в задании);

$I$  - атмосферное (наружное) давление, кгс/см<sup>2</sup>;

$D_H$  - наружный диаметр трубопровода, мм (спределено в 9.1);

$S$  - толщина стенки трубы, мм.

Должно быть

$$\sigma_{\varphi} = \frac{[\sigma]}{k}$$

где  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение для рабочего состояния стенки (определяется по  $t$  и марке стали из табл. I-4 [1] или табл. 3.5, 3.6, 3.9[5]);

$k$  – коэффициент, учитывающий влияние прочих сил, кроме внутреннего давления. Обычно  $k = 2 - 2,5$ .

Тогда

$$\frac{\rho_{\text{изб}} D_{\text{н}}}{2S} = \frac{[\sigma]}{k}$$

предварительная номинальная толщина стенки трубы, мм

$$S \geq \frac{k \rho_{\text{изб}} D_{\text{н}}}{200 [\sigma]}$$

где  $\rho_{\text{изб}}$  – расчетное избыточное давление в трубопроводе, кгс/см<sup>2</sup>;

$D_{\text{н}}$  – наружный диаметр, мм;

$[\sigma]$  – номинальное допускаемое напряжение, кгс/мм<sup>2</sup>. В бланках заданий по программе "АСТРА" оно обозначается  $\sigma_{\text{доп}}^{\text{Р}}$ .

Внимательно следить за размерностями.

По найденному  $S$  подбирается ближайшее большее целое, в мм, но оно должно быть не менее значений, приведенных в табл. 9.3.

Т а б л и ц а 9.3

Соотношение условного прохода  $D_{\text{у}}$  и толщины  
стенки труб  $S$

Условный проход, $D_{\text{у}}$ , мм	Толщина стенки трубы, $S$ , мм
50 – 150	3
200 – 400	4
500 – 600	5
700 – 800	7
1000 – 1200	10

В заключение уточняем марку стали трубопровода, размеры труб ( $D_{\text{у}}$ ,  $D_{\text{н}}$  x  $S$ ,  $D_{\text{в}}$ ) по табл. 3.3, 3.4[5] и допускаемые напряжения  $[\sigma]$  в холодном и рабочем состояниях по табл. I – 4 прил. I [1] или табл. 3.5, 3.6, 3.9[5]. Эти значения будут исходными при расчете на ЭВМ по программе "АСТРА".

### 9.3. Расчет на прочность и самокомпенсацию трубопроводной системы на ЭВМ по программе "АСТРА"

#### 9.3.1. Формализация исходной схемы трубопроводной системы

После выбора материала, диаметра и толщины стенки произвести по программе "АСТРА" полный расчет на прочность и самокомпенсацию с выбором упругих опор и проанализировать результаты по условиям прочности, жесткости и допустимых усилий на неподвижные опоры (присоединенное оборудование).

Для расчета трубопровода по программе "АСТРА" данную схему следует формализовать и заполнить специальные бланки исходных данных.

Для формализации схемы трубопровода вводится система координат  $Ox_1x_2x_3$ , где ось  $x_3$  направлена вверх, а оси  $x_1$  и  $x_2$  - в горизонтальной плоскости. Эти оси характеризуют трассировку трубопровода, в частности, изменение его направления.

Затем нумеруем узлы и неподвижные опоры. Первыми нумеруются узлы (их наличие характеризуют тройники, штуцеры), затем неподвижные опоры. Расстояния между узлами, между узлом и неподвижной опорой, между неподвижными опорами (при отсутствии узлов) соответствуют участкам трубопроводной системы. Узел или неподвижная опора, получившая номер 1, становится началом координат "0".

Затем, продвигаясь от узла номер 1 (или неподвижной опоры номер 1 - при отсутствии узла) к узлу номер 2 (или неподвижной опоре номер 2 - при отсутствии узла) нумеруем сечения (по порядку). Причем сам узел номер 1 (или неподвижная опора номер 1 - при отсутствии узла) является сечением номер 0.

Пример формализации схемы трубопровода приведен на рис.9.1.

Исходную схему (рис.9.1 А) с неподвижными (Н.О.), упругими (У.О.), скользящими (С.О.) опорами, задвижкой (Задв) и сосредоточенной силой (F) заменяем формализованной с обозначением системы координат  $Ox_1x_2x_3$  (рис.9.1 Б). Нумеруем левую неподвижную опору номером 1 (узлов нет). Она становится началом координат "0". Правую неподвижную опору нумеруем номером 2 (узлов нет). Расстояние между ними является участком трубопровода. На формализованной схе-

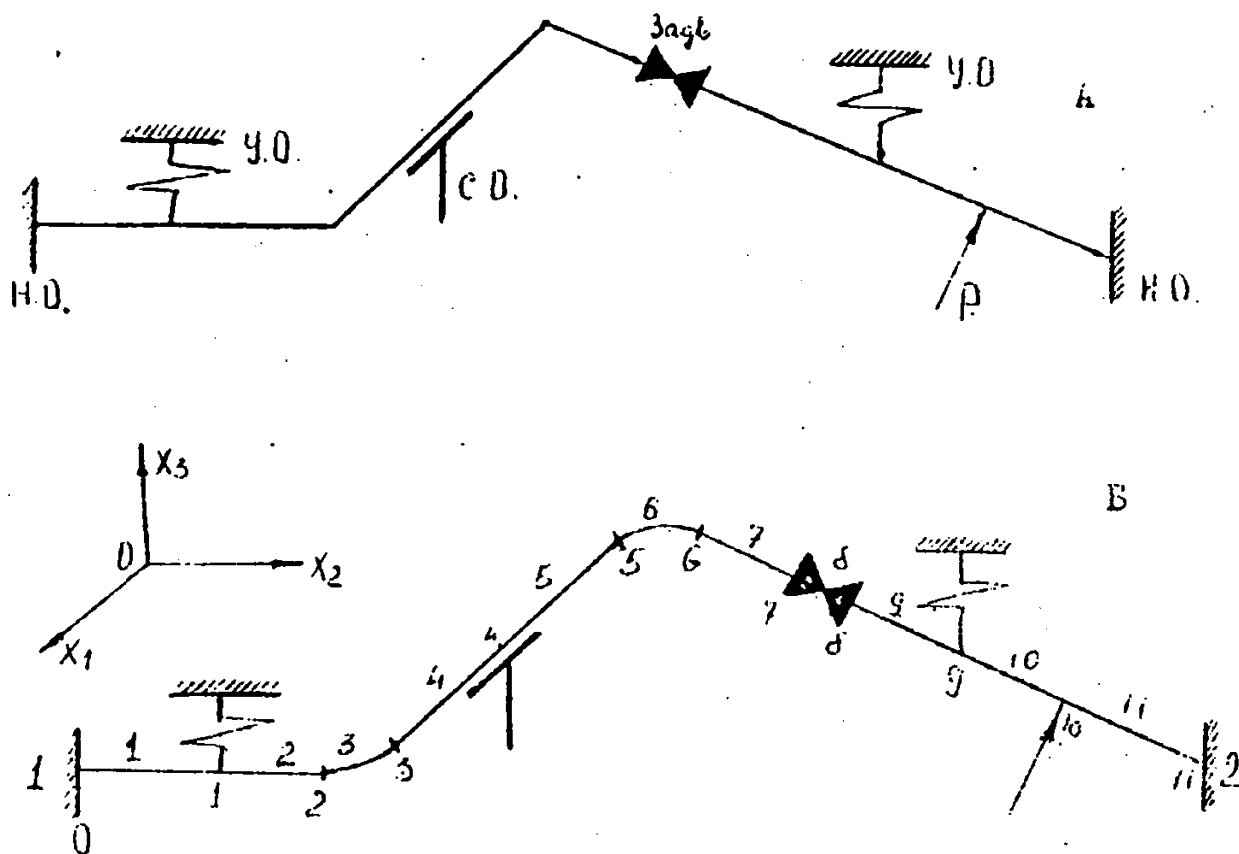


Рис. 9.1. Схема трубопроводной системы:

А - исходная; Б - формализованная

ме трубопроводной системы слева направо последовательно наносим сечения. 1-я неподвижная опора является сечением номер 0. Второе сечение - упругой опоры - его номер 1; следующее - в месте соединения отвода с прямолинейными участками (слева и справа) - номера 2 и 3; далее - сечение у скользящей опоры номер 4; у отвода с двух сторон - номера 5, 6; у задвижки с двух сторон - номера 7, 8; у упругой опоры - номер 9, у сосредоточенной силы - номер 10 и, наконец, у второй неподвижной опоры - номер 11.

Нумеруем отрезки: отрезок 0-1 получает номер 1, отрезок 1-2 - номер 2 и т.д. Задвижка также является отрезком (номер 8). Всего по рис. 9.1 одиннадцать отрезков.

Затем для расчета на ЭВМ по программе "АСТРА" приступаем к заполнению двух бланков заданий:

- а) заглавного "Исходные данные системы";
- б) бланка-описания участка "Исходные данные участка".

Для любой трубопроводной системы заполняется один заглавный бланк и один или несколько бланков-описаний участков. В данном случае – по одному бланку каждого вида.

### 9.3.2. Заполнение заглавного бланка "Задание для расчета трубопроводной системы на прочность с учетом сил трения по программе "АСТРА". Исходные данные системы"

При заполнении дробную часть от целой отделять точкой. Регистрационный номер расчета: это номер варианта (дан в задании).

Название объекта: "Трубопроводы КЭС (или ТЭЦ)".

Дополнительные сведения: "Студент такой-то и номер группы".

Например: студ. Иванов П.И., гр.106418.

Далее идет таблица  $\begin{matrix} \text{---} & \& \text{---} \\ \text{---} & \& \text{---} \\ \text{---} & \& \text{---} \\ \text{---} & \& \text{---} \\ \text{---} & \& \text{---} \\ \text{---} & \& \text{---} \\ \text{---} & \& \text{---} \\ \text{---} & \& \text{---} \end{matrix}$ , имеющая восемь пустых клеток. Слева от них наименования величин, вносимых в клетки.

Номер расчета. Вводим "1", т.е. полный расчет с выбором упругих опор. (Существуют и другие виды расчета: 3 – расчет только на гидравлические испытания; 8 – поверочный расчет без выбора упругих опор и т.д.).

Число участков. Вводим 1 (Как на формализованной схеме).

Число узлов. В рассматриваемом примере узлов (мест разветвления трубопроводной системы) нет, поэтому вводим 0.

Количество приближений при выборе упругих опор,  $S$ . Принимаем 2.

Коэффициент перегрузки,  $K_{\text{п}}$ . Принимаем 1.4.

Задаваемое изменение нагрузки на упругую опору при переходе из рабочего состояния в холодное,  $\Delta$  %. Принимаем 35.

Условная жесткость упругих опор (кгс/см),  $K_{\text{у}}$ . Принимаем 1000000.

Коэффициент запаса по нагрузке упругих опор (1,0 – 1,3),  $K$ . Принимаем 1.1.

Признак печати исходных данных  $IP =$ . Не заполнять.

Признак выбора отраслевой нормы подбора пружин  $IPR =$ . Это закодировано в информационном обеспечении программы. Если  $IPR = 0$ , то пружины подбираются по МВН. Если  $IPR = 1$ , то – по ОСТ (указано в задании).

Таблицу "Опоры окольжения узлов" не заполнять, так как узлов в приведенной схеме (рис.9.1) нет.

В заключение заполняется штамп и на этом оформлении заглавного бланка закончено,

### 9.3.3. Заполнение бланка-описания участка "Задание (продолжение) для расчета трубопроводной системы на прочность по программе "АСТРА". Исходные данные участка"

Этот бланк содержит восемь таблиц. При заполнении дробную часть от целой отделять точкой.

#### Таблица "Общие данные"

Начало участка,  $NAU =$ . Записываем номер 1-й Н.О., т.е. 1.

Конец участка,  $KOU =$ . Записываем "2" (номер 2-й Н.О.).

Число отрезков,  $ZO =$ . Определено при формализации схемы трубопровода. По схеме (рис.9.1 Б) "11".

Расчетное внутреннее давление,  $p$ , кгс/см<sup>2</sup>,  $P =$ . Из задания на курсовое проектирование.

Модуль упругости для рабочего состояния,  $E_p$ , кгс/см<sup>2</sup>,  $EP =$ . Найти по табл. 2.20; 2.25; 2.30 [5] в зависимости от заданной температуры  $t$ . Обратить внимание на размерность!

Модуль упругости для холодного состояния,  $E_x$ , кгс/см<sup>2</sup>,  $EX =$ . Найти там же при  $t_0 = 20^\circ C$ . Размерность!

Допускаемое напряжение для рабочего состояния,  $\sigma_{доп}^p$  (ранее обозначалось по стандарту  $[\sigma]$  при  $t$ ), кгс/см<sup>2</sup>,  $\sigma^p =$ . Было определено в разделе 9.2. Следить за размерностью!

Допускаемое напряжение для холодного состояния,  $\sigma_{доп}^x$  (ранее обозначалось по стандарту  $[\sigma]$  при  $t_0 = 20^\circ C$ ), кгс/см<sup>2</sup>,  $\sigma^x =$ . Находилось в разделе 9.2. Следить за размерностью!

Допускаемая амплитуда напряжений для прямолинейных труб,  $[\sigma_a]^{пр}$ , кгс/см<sup>2</sup>,  $\sigma_{AK}^{пр} =$ . Найти  $[\sigma_a]^{пр}$  по черт. 2, 3, 4 [5] или по рис.5.1 [5] в зависимости от числа циклов, определяемого по приложению 3.

Допускаемая амплитуда напряжений для криволинейных труб,  $[\sigma_a]^{кр}$ , кгс/см<sup>2</sup>,  $\sigma_{AK}^{кр} =$ . Найти тем же образом по РТМ ИОБ.ОБ1.112-80 или по рис.5.1 [5]. Следить за размерностью!

Равномерно распределенная нагрузка,  $q_1, q_2, q_3$ , кгс/см,  $q =$ . Она вызвана весом трубопровода на 1 см его длины в проекциях

на оси координат соответственно  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ . Вес трубопровода направлен вниз. Поэтому проекции на оси  $X_1$ ,  $X_2$  отсутствуют, т.е.

$q_1 = q_2 = 0$ , а нагрузка  $q_3$  (в проекции на ось  $X_3$ ) записывается в бланке со знаком "минус" и определяется следующим образом:

$$q_3 = q_{\text{тр}} + q_{\text{ср}} + q_{\text{изол}}$$

Здесь  $q_{\text{тр}}$  - вес 1 см собственно трубы, кгс/см:

$$q_{\text{тр}} = \frac{\pi}{4} [D_H^2 - (D_H - 2S)^2] \delta_c = \pi S (D_H - S) \delta_c,$$

$\delta_c = 7,85 \cdot 10^{-3}$  кгс/см<sup>3</sup> - удельный вес стали. Его можно определить также по табл. 2.19; 2.24; 2.29 [5]. Следить за размерностью!

$q_{\text{ср}}$  - вес среды, кгс/см. Для пара им можно пренебречь. Для воды определить по табл. 3.10 [5] (следить за размерностью!) или по формуле:

$$q_{\text{ср}} = \frac{\pi}{4} (D_H - 2S)^2 \delta_v,$$

где  $\delta_v$  - удельный вес воды, кгс/см<sup>3</sup>. Определяется по известному удельному объему "v" или табл. 9.2 [5] в зависимости от температуры воды  $t$ . Обратить внимание на размерность.

$q_{\text{изол}}$  - вес тепловой изоляции в расчете на 1 см длины. Определяется по табл. 7.2 [5] в зависимости от  $D_H$  и  $t$ . В табл. 7.2 [5] приведен вес изоляции на 1 м длины, перевести в см. Если даны два значения, выбрать большее.

Расчетная разность температур,  $t_H$ , °C.  $T =$ . Это разность между рабочей температурой и температурой наружного воздуха  $t_0 = 20^\circ\text{C}$

$$t_H = t - t_0.$$

Коэффициент линейного расширения,  $\beta$ , 1/°C.  $\beta_{\text{СТА}}$ . Определить по табл. 2.19; 2.24; 2.29 [5] в зависимости от  $t$  и марки стали. Следить за размерностью!

Номинальный наружный диаметр трубы,  $D_H$ , см,  $D_H =$ . Уже определен. Следить за размерностью!

Номинальная толщина стенки трубы,  $S$ , см,  $S =$ . Уже определена.

Допуск на утонение стенки трубы,  $c_I$ , см.  $CI =$  . Он показывает возможность изготовления трубы на заводе с несколько более тонкой стенкой, чем требуется. Обычно " $c_I$ " принимается в размере 10% номинальной толщины стенки трубы.

Коэффициент прочности поперечного сварного стыка,  $\varphi_u$ .  $FIU =$  .  
Определяется по табл. I [3] (обозначен  $\varphi_{\beta\omega}$ ) или по табл. 4.9 [5].

Коэффициент прочности продольного сварного стыка,  $\varphi$ .  $FI =$  .  
Определяется по подразделу 2.1 (С.6) [3] (обозначен  $\varphi_{\omega}$ ) или табл. 4.8 [5].

Коэффициент усреднения компенсационных напряжений, а также показатель ползучести учитывают влияние ползучести металла, которое становится заметным лишь при расчетной температуре выше  $370^{\circ}\text{C}$ . Поэтому, если  $t_p \leq 370^{\circ}\text{C}$ , то заранее фиксированы значения:  $X$  (или  $XI$ ) = I;  $\delta$  (или ДЕМ) = I;  $m$  (или  $M$ ) = 0, показывающие, что влиянием ползучести следует пренебречь. Если же  $t > 370^{\circ}\text{C}$ , то эти значения определяются следующим образом.

Коэффициент усреднения компенсационных напряжений,  $X$ .  $XI =$  .  
Определяется по рис. 5.2 [5] в зависимости от марки стали и рабочей температуры.

Коэффициент релаксации компенсационных напряжений,  $\delta$ . ДЕМ = .  
Определяется по рис. 5.3 [5] в зависимости от марки стали и рабочей температуры.

Показатель ползучести металла,  $m$ .  $M =$  . Принять по прил. 5.

Начальная эллиптичность сечения криволинейной трубы,  $a$ , %.  
 $A =$  . Обычно  $a \approx 3\%$ . (Появляется при изготовлении изогнутых частей - отводов).

Смещение концов трубопровода от присоединенного оборудования (возможные при монтаже). Считаем, что они отсутствуют.

Тройники - отсутствуют, поэтому данные строки в таблице не заполняем.

### Таблица "Координаты"

Таблица задает "геометрию" трубопровода. Все величины задаются в сантиметрах.

Поместив начало координат в первую Н.О., записываем координаты каждого сечения. Например, для сечения "0" координаты  $X1 = X2 = R = 0$ . Радиусыгиба прямолинейных участков задаются нулями.



Если сечение расположено в конце криволинейных отрезков (например, 3 на рис. 9.1, 9.2), то задаются координаты не самого сечения, а координаты "вершины поворота" А (рис. 9.2). При этом координаты предыдущего сечения (например, 2 на рис. 9.1, 9.2) заменяются нулями. Записи для криволинейного участка относят к конечной точке поворота (в частности, сечению номер 3). Радиусгиба криволинейного участка принять равным  $D_n$ .

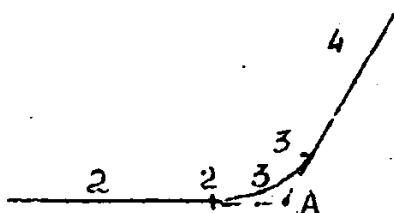


Рис. 9.2. Схема криволинейного отрезка 3 трубопроводной системы

Столбец "длина отрезка".  $D =$  . Не заполняется.

Заполнение таблицы заканчивается последним сечением, в нашем случае номером 11 (рис. 9.1).

#### Таблица "Опоры скольжения"

Задаются: номера сечений, в которых расположены опоры скольжения (например, 4 рис. 9.1). Условные жесткости  $K_{ус}$  по осям  $X_1$  и  $X_2 - K_{ус} =$  . Пишем "0", так как С.О. не препятствует перемещению трубопровода в горизонтальной плоскости. По оси  $X_3 - K_{ус} \approx 1000000$  кгс/см, так как опора препятствует перемещению вниз. Коэффициент трения - 0.3.

#### Таблица "Упругие опоры"

определяются сечения, в которых имеются упругие опоры (на рис. 9.1, например, 1 и 9) и заносятся в столбец "Номер сечения".

Столбцы "Жесткость цепи упругой опоры", "Рабочая нагрузка упругой опоры" не заполняются, так как задаются только при поворочном расчете.

Количество тяг упругой опоры задается в задании на курсовое проектирование.

Длина тяги упругой опоры задается в задании.

### Таблица "Отличающиеся значения"

Таблица описывает арматуру трубопровода: задвижки, вентили, обратные клапаны, изменение диаметра или толщины стенки (отрезок 8 на рис.9.1).

Номер сечения начала смены - номер отрезка, являющегося задвижкой (в нашем случае 8).

Номер сечения конца смены - не заполняется, так как изменение охватывает лишь один отрезок.

$D_n$ , см - диаметр, в нашем случае он равен наружному диаметру трубы (следить за размерностью).

$S$ , см - толщина стенки задвижки, принимаем в два раза больше номинальной толщины трубопровода (следить за размерностью).

$C_I$ , см - допуск на утонение. Принимаем 10% от толщины стенки задвижки.

$q_z$ , кгс/см - равномерно распределенная нагрузка (также со знаком "минус").

$$q_z = q_{\text{задв}} + q_{\text{ср}} + q_{\text{изол}}$$

$q_{\text{изол}}$  - так же, как в подразделе 9.3.3;

$q_{\text{ср}}$  - аналогично определению в подразделе 9.3.3, но учесть, что толщина стенки здесь другая;

$q_{\text{задв}} = P_{\text{задв}} / l_{\text{задв}}$  - вес задвижки на 1 см длины, кгс/см;

$l_{\text{задв}}$  - длина задвижки, см; (дана в задании);

$P_{\text{задв}}$  - вес задвижки, кгс (дан в задании).

Если больше арматуры на схеме нет, заканчивается заполнение таблицы.

### Таблица "Сосредоточенные силы"

При монтаже трубопровода возможно воздействие на него со стороны других трубопроводов и строительных конструкций в виде сосредоточенных сил (например, Р - рис.9.1).

В таблицу заносятся номера сечений (например, 10, рис.9.1) и значения силы в проекциях на оси координат (контролировать знак "+" или "-").

Таблица "Монтажный растяг в местной системе координат"

Холодная растяжка трубопровода (монтажный натяг) производится

для уменьшения напряжений в П-образных, линзовых компенсаторах при рабочем состоянии трубопровода, а также для уменьшения нагрузки, передаваемой на оборудование. При этом трубопровод растягивает в холодном состоянии (при монтаже) в пределах упругих свойств металла. Холодную растяжку выполняют в виде зазора между концами соединяемых труб (например, концом компенсатора и концом прямого участка трубы, к которому присоединяется компенсатор). Холодная растяжка производится на сварном стыке или фланцевом соединении, наиболее удаленном от компенсатора, так как при растягивании перекос в сварном соединении будет наименьшим. Место и размер холодной растяжки указывается на чертежах трубопровода.

При нагреве (тепловом удлинении трубопровода) напряжения растяжения, полученные в результате холодной растяжки, снимаются.

Рекомендуют применять монтажную растяжку в высокотемпературных трубопроводах, которые обладают локализаторами ползучести, т.е. элементами, в которых может происходить интенсивное накопление деформации ползучести.

Выполнение холодной растяжки необязательно. Целесообразность ее применения, размеры и место выполнения решают с учетом конкретных особенностей трубопровода.

Учет монтажной растяжки в расчете трубопровода на прочность допускается в случае, когда гарантируется ее выполнение в строгом соответствии с данными проекта. Если качество выполнения монтажной растяжки не гарантируется, рекомендуется рассчитывать трубопровод на прочность без ее учета. В этом случае положительный эффект монтажной растяжки обосновывают и относят к неучитываемым факторам, повышающим запас надежности трубопровода.

По этим причинам таблицу "Монтажный растяг" в бланке-описании участков не заполняем.

#### Таблица "Жесткости труб для компенсатора"

Таблица описывает имеющиеся на схеме линзовые компенсаторы. По причине их отсутствия на рис.9.1 таблица не заполняется.

На этом заполнение бланка-описания участка заканчивается и все бланки передаются оператору ЭИИ для расчета.

#### 9.4. Обработка результатов расчета по программе "АСТРА"

Результаты расчета по программе "АСТРА" содержат следующую информацию.

Напряжения в трубопроводах (по каждому сечению).

Перемещения каждого сечения по осям координат.

Выбранные упругие опоры.

Усилия на неподвижные опоры.

Студент обязан произвести письменный анализ результатов по следующим условиям:

по прочности: нет ли перегрузок в металле труб; в опорах? Где именно (выделить на формализованной схеме трубопровода). Какие предложения по устранению нагрузок в элементах?

по жесткости: вектор суммарного перемещения любого сечения не должен превышать 5 см. Если есть такие превышения, то где (отметить на схеме)? Как их устранить?

усилия на неподвижные опоры не должны превышать 10000 кгс. Если есть такие превышения, то где (отметить на схеме)? Как их устранить?

Следует учесть, что усилия и перемещения в каждом криволинейном отрезке даются в двух точках: "вершине" угла поворота и в конце отрезка под одним и тем же номером.

#### 9.5. Содержание пояснительной записки

Титульный лист.

Задание на курсовое проектирование.

Содержание.

1. Описание и схема трубопровода (с конкретными данными).
2. Предварительный выбор марки стали и диаметров трубопроводной системы.
3. Расчет толщины стенки трубы.
4. Формализованная схема трубопроводной системы для расчета на ЭВМ по программе "АСТРА" (с номерами сечений, отрезков, заполненными бланками).
5. Результаты расчета на ЭВМ по программе "АСТРА".
6. Анализ результатов.

Заключение.

Литература.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Пример оформления титульного листа пояснительной записки

Белорусская государственная ордена Трудового Красного Знамени  
политехническая академия

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра "ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ"

Группа.....

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ  
КУРСОВОЙ ПРОЕКТ  
по дисциплине "Основы конструирования и САПР"

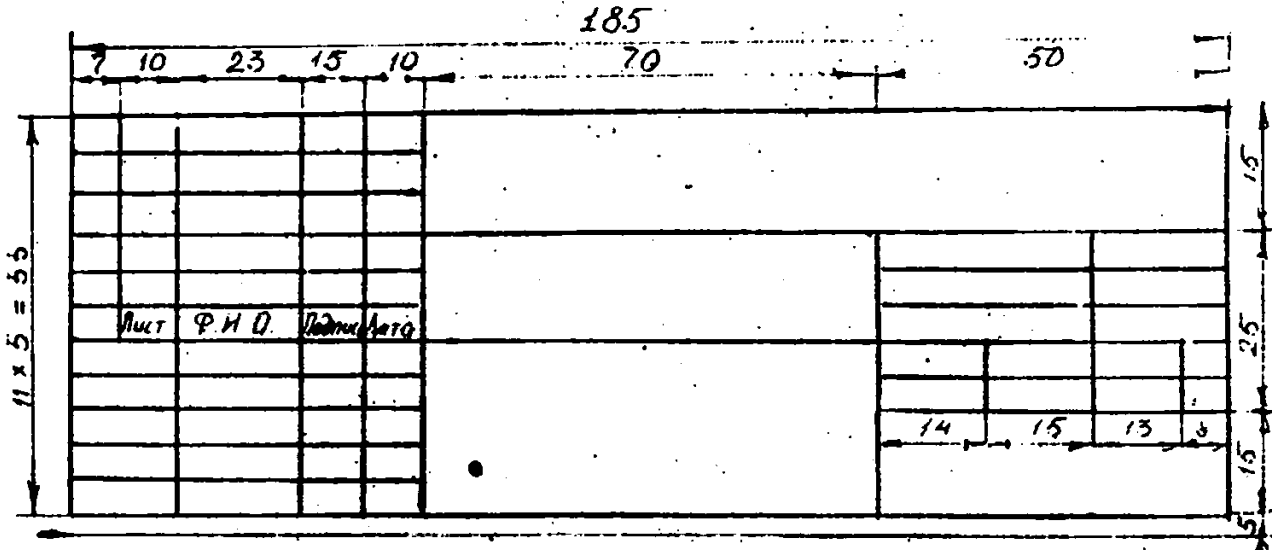
Исполнитель:  
Руководитель:

В. А. Иванов  
канд. техн. наук, доцент А. Н. Петров

1992 г.

Штампы на чертежах, схемах

А



Б

					Наименование темы курсового проекта			
					Наименование схемы (чертежа)		Заглавный лист	
							Стадия проекта	Курсовой
							Этап (сектор)	каф. ТЭС
							Насурков	1-100 Лист
							Шынар	1Р Листов
					Тип основного оборудования			
					МНО РБ Б Г П А			
Лист	Ф.И.О.	Подпись	Дата					
Роб. карт								
Расчеты								
Консультант								
Контроль								
Структ								

Рис. П I. Основная надпись для чертежей (схем) А и пример заполнения Б

Позиция	Наименование	Кол-во	Примечание
20	110	10	15

185

Рис. П2. Перечень элементов на чертежах (схемах)

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

#### Число циклов нагружения для трубопроводов [5]

Трубопроводы энергетических установок, предназначенные для ежедневных пусков (в течение 30 лет) — 22000 циклов.

Трубопроводы теплофикационных установок при использовании электрической мощности в неотапительный период для покрытия пиковой нагрузки (150–200 остановов в год) — 4500 – 6000 циклов.

Трубопроводы мощных конденсационных блоков — 3000 циклов.

Паропроводы для отпуска пара промышленности, теплофикационные водоводы (в течение 30 лет) — 1500 циклов.

#### П р и м е ч а н и е.

1. Для трубопроводов с рабочей температурой 150 – 200°C число циклов нагружения принимать с запасом (с превышением над ожидаемым действительным значением) не менее 50%; при более высокой температуре — не менее 100%.

2. Для трубопроводов с любой рабочей температурой при диаметре более 500 мм расчетное число циклов нагружения принимать с запасом 50%.

3. При расчетном числе циклов нагружения трубопровода меньше 3000 допустимую амплитуду напряжения  $[\sigma_a]$  принимать при 3000 циклах.

### ПРИЛОЖЕНИЕ 4

#### Скорости движения среды в стационарных трубопроводах [5, 11, 12]

Наименование трубопровода	Скорость, $w$ , м/с
1	2
Паропроводы сухого пара от котлов к турбинам:	
сверхкритических параметров ( $p \geq 17$ МПа)	50 – 70
докритических параметров ( $p < 17$ МПа)	40 – 70
Паропроводы промежуточного перегрева:	
горячего (после промежуточного перегрева — от котла к турбине)	50 – 70
холодного (до промежуточного перегрева от турбины к котлу)	40 – 50
Паропроводы водовода пара к РОУ, БРОУ, предохранительным клапанам, выхлопным линиям	60 – 90

Продолжение прил. 4

I	!	2
Паропроводы низкого давления		40 - 70
Паропроводы насыщенного пара		20 - 40
Водоводы напорные, работающие под давлением насосов:		
питательная вода котлов		2,5 - 6
конденсатопроводы, вспомогательные трубопроводы (сырой, технической, химически очищенной, смывной воды)		2 - 3
Водоводы, работающие без давления:		
на всасе к насосам всех назначений, свободного слива, перелива и т.д.		0,6 - 1,5 1 - 2
Трубопроводы вязких веществ (масла, мазута и т.д.)		1 - 2
Трубопроводы сжатого воздуха и других газов		10 - 20
Выхлопные трубопроводы, трубопроводы аварийных сливов и сбросов после БРОУ		Допустима критическая

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Показатель ползучести металла  $m$  для трубных сталей

марка стали	°C						
	370	400	450	500	550	600	
20	5,9	5,7	5,3	4,9	4,6	4,4	
12МХ, 15МХ	7,0	6,7	6,5	6,1	5,8	5,4	
ЭИ756	6,6	6,3	5,5	4,8	4,2	3,7	
12Х1МФ	12,0	10,0	8,2	6,2	4,3	2,9	
15Х1М1Ф	7,5	6,8	5,5	4,4	3,3	2,4	
Х18Н10Т, Х18Н12Т	6,0	5,5	5,0	4,4	3,8	3,3	

Для сталей, не вошедших в этот перечень, подбирать показатель ползучести по ближайшему аналогу (по стали с аналогичным химическим составом).



## Л и т е р а т у р а

1. Котлы стационарные и трубопроводы пара и горячей воды. Нормы расчета на прочность. Общие положения по обоснованию толщины стенки. ОСТ 108.031.08-85 (ст. СЭВ 5307-85). Введ. 01.07.87. - М.: НПО ЦКТИ, 1987. - 26 с.

2. Котлы стационарные и трубопроводы пара и горячей воды. Нормы расчета на прочность. Методы определения толщины стенки. ОСТ 108.031.09-85 (ст. СЭВ 5308-85). Введ. 01.07.87. - М.: НПО ЦКТИ, 1987. - 58 с.

3. Котлы стационарные и трубопроводы пара и горячей воды. Нормы расчета на прочность. Определение коэффициента прочности. ОСТ 108.031.10-85 (ст. СЭВ 5309-85). Введ. 01.07.87. - М.: НПО ЦКТИ, - 31 с.

4. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. ГОСТ 14249-89 (ст. СЭВ 596-86, ст. СЭВ 597-77, ст. СЭВ 1039-78, ст. СЭВ 1040-88, ст. СЭВ 1041-88). Введ. 01.01.90. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 78 с.

5. Н и к и т и н а И.К. Справочник по трубопроводам тепловых электростанций. - М.: Энергоиздат, 1983. - 176 с.

6. А н т и к а й н П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов. - М.: Энергия, 1980. - 424 с.

7. В у к а л о в и ч М.П. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. - М.-Л.: Энергия, 1965. - 400 с.

8. Р и в к и н С.Л., А л е к с а н д р о в А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. - М.: Энергия, 1975. - 80 с.

9. Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей. Утв. 17.08.81. - М.: Энергия, 1981. - 121 с.

10. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Утв. 30.08.76. - М.: Энергия, 1977. - 288 с.

11. Тепловые и атомные электрические станции. Справочник (Теплоэнергетика и теплотехника)/ Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. - М.: Энергоиздат, 1982. - 624 с.

12. Теплотехнический справочник/ Под общ. ред. В.Н. Кренева, П.Д. Лебедева. - М.: Энергия. Т.1, 1975. - 743 с; Т.2, 1976. - 896 с.

13. Арматура и детали трубопроводов. Давления условные, проб-

ные и рабочие. Ряды. ГОСТ 356-80 (СТ СЭВ 253-76). Введ. 01.01.1981 до 01.01.1991 г. - М.: Изд-во стандартов, 1980. - 32 с.

14. Стандарты предприятия. Единая система учебной документации. Курсовая работа. Общие требования и правила оформления. СТП 10-02. Введ. 01.09.90. - Мн.: БИИ, 1990. - 8 с.

## С о д е р ж а н и е

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ.....	3
2. ЦЕЛЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	4
3. ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	4
4. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКЕ.....	4
5. ВЫПОЛНЕНИЕ ОСНОВНОЙ НАДПИСИ И ПЕРЕЧНЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЧЕРТЕЖАХ (СХЕМАХ).....	5
6. ТЕМА КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	6
7. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММЫ "АСТРА".....	8
8. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ.....	10
9. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	10
9.1. Предварительный выбор марки стали и диаметров трубопроводной системы.....	10
9.2. Расчет толщины стенки трубы.....	11
9.3. Расчет на прочность и самокомпенсацию трубопровод- ной системы на ЭВМ по программе "АСТРА".....	13
9.3.1. Формализация исходной схемы трубопроводной системы.....	13
9.3.2. Выполнение заглавного бланка "Задание для расчета трубопроводной системы на прочность с учетом сил трения по программе "АСТРА". Исходные данные системы".....	15
9.3.3. Заполнение бланка-описания участка "Задание (продолжение) для расчета трубопроводной системы на прочность по программе "АСТРА". Исходные данные участка".....	16
9.4. Обработка результатов расчета по программе "АСТРА".....	22
9.5. Содержание пояснительной записки.....	22
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	23
Л и т е р а т у р а.....	27

Учебное издание

АКУЛИЧ Игорь Федорович  
ЛУКОВОЗЧИК Надежда Васильевна и др.

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И САПР

Методическое пособие

к курсовому проектированию по дисциплине

"Основы конструирования и системы  
автоматизированного проектирования" для

студентов специальности 10.05 –

"Тепловые электрические станции"

Редактор Л.В.Иванова. Корректор М.П.Антонова

---

Подписано в печать 02.03.92.

Формат 60x84<sup>I</sup>/16. Бумага тип. № 2. Офсет. печать.

Усл.печ.л. 1,9. Уч.-изд.л. 1,5. Тир. 300. Зак. 76.

---

Белорусская государственная ордена Трудового Красного Знамени  
политехническая академия.

Отпечатано на ротапринтере БГПА. 220027; Минск, пр. Ф.Скорины, 65.

**Лабораторный практикум по дисциплине  
«Основы конструирования и САПР»**

# 1 Лабораторная работа №1.

## Основные понятия и принципы работы системы AutoCAD

### 1.1 Общие положения

**Цель работы:** Изучить основные понятия и принципы работы системы **AutoCAD 2002**, графического интерфейса, средства системной среды и инструментальных панелей и их настройка, способы ввода команд и данных.

### 1.2 Запуск программы AutoCAD

Для запуска системы **AutoCAD 2002** на платформе **Windows 2000** необходимо выполнить следующую последовательность действий:

- щелкнуть на кнопке Пуск на Панели задач;
- выбрать пункт Программы;
- выбрать пункт AutoCAD 2002;
- выбрать пункт AutoCAD 2002.

Если в ходе установки системы на Рабочем столе **Windows** был создан ярлык для программы AutoCAD, то процесс запуска упрощается – достаточно дважды щелкнуть мышью на этом ярлыке.

После запуска на экране монитора появятся главное окно AutoCAD (рис. 1.1), заголовки выпадающих меню, панели инструментов и диалоговое окно AutoCAD 2002 Today (рис. 1.2).

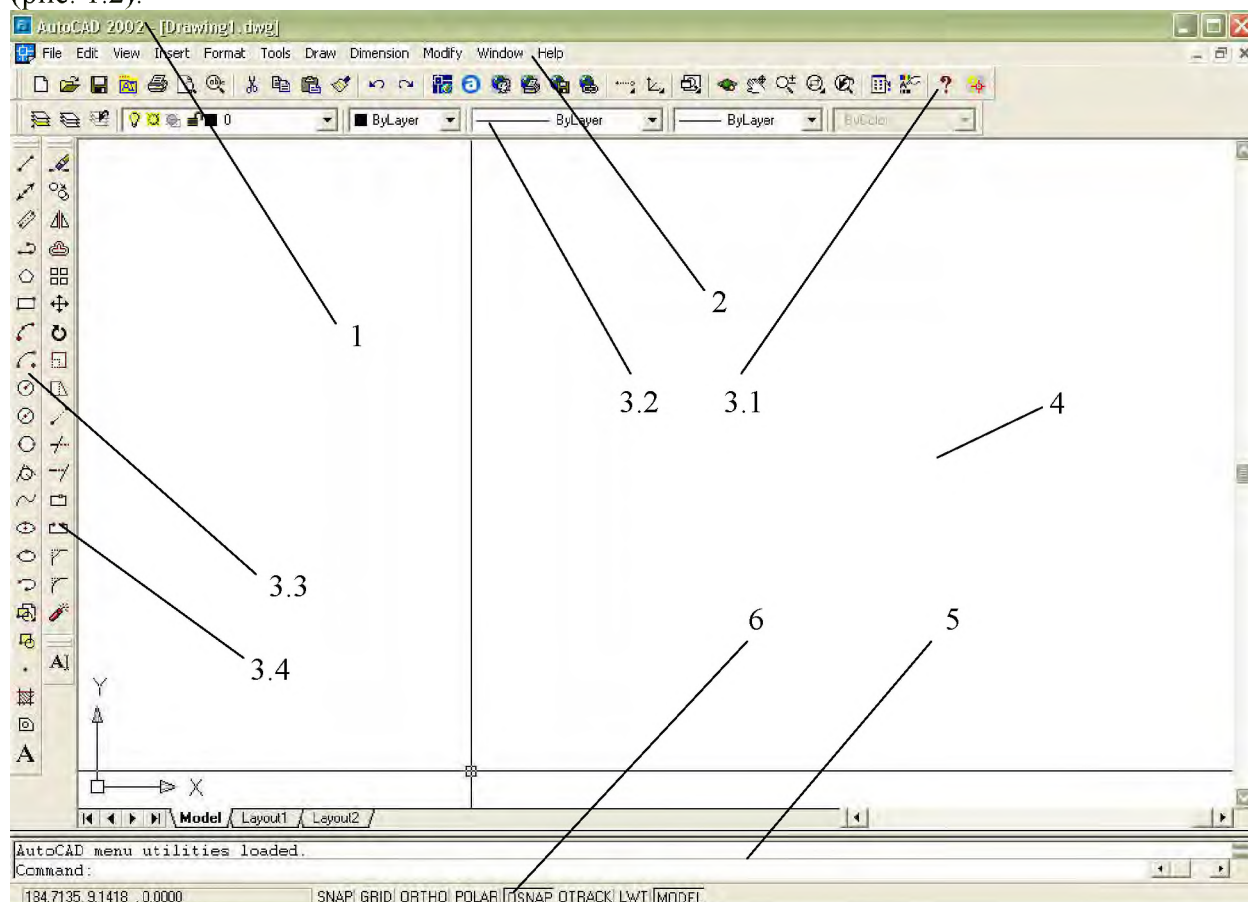


Рис. 1.1 Главное окно системы AutoCAD 2002

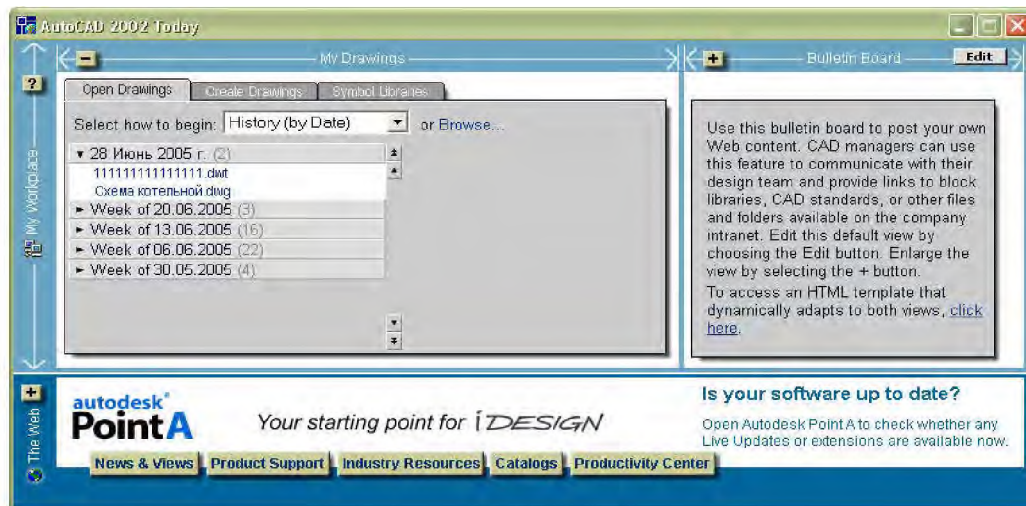


Рис. 1.2 Диалоговое окно AutoCAD 2002 Today

При запуске система AutoCAD предлагает в диалоговом окне AutoCAD 2002 Today несколько режимов начала работы. Выбор режима начала работы определяет набор первоначальных рабочих параметров для нового чертежа. После выбора режима начала работы его название отображается в диалоговом окне AutoCAD 2002 Today.

Диалоговое окно AutoCAD 2002 Today разделено на три информационных окна:

- 1) **My Drawings** (Мои рисунки) – позволяет продолжить работу с уже существующим чертежом или произвести настройку нового чертежа по шаблонам AutoCAD 2002;
- 2) **Bulletin Board** (Информационное окно) – служит источником коммуникации на вашем сайте и позволяет производить работу с чертежом сразу нескольким пользователям по Интернету либо локальной сети;
- 3) **The Web** – позволяет производить обновления системы AutoCAD 2002 через Интернет.

В диалоговом окне закладок: My Drawings существуют закладки Open a Drawing, Create Drawings, Symbol Libraries:

- **Open a Drawing** (рис. 1.3) позволяет продолжить работу с уже существующим чертежом. Чтобы загрузить файл чертежа, нужно выбрать его имя в списке Select a file и щелкнуть на кнопке ОК. Если список не содержит нужного файла, нажмите кнопку Browse для его поиска способом, стандартным для всех приложений *Windows*.

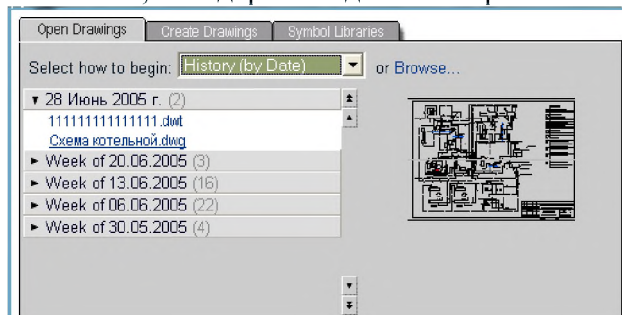


Рис. 1.3 Закладка Open a Drawing диалогового окна AutoCAD 2002 Today

- **Create Drawings** позволяет начать новый чертеж с параметрами установленными в системе по умолчанию либо произвести загрузку параметров из имеющегося архива системы AutoCAD 2002 с помощью кнопок **Start from Scratch**, **Use a Template**, **Use a Wizard**:

- a) **Start from Scratch** (рис. 1.4) позволяет начать новый чертеж с параметрами, установленными в системе по умолчанию. В этом случае пользователю при соз-

дании нового чертежа нужно выбрать только единицы измерения из списка Default Settings (метрическую или английскую) диалогового окна Start Up.

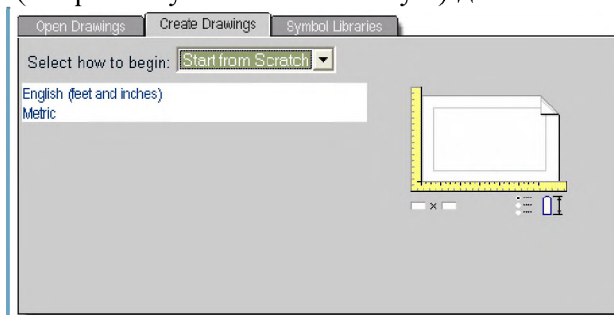


Рис. 1.4 Закладка Start from Scratch диалогового окна AutoCAD 2002 Today

- b) Кнопка **Use a Template** (рис. 1.5) позволяет начать новый чертеж с использованием параметров существующего чертежа-шаблона. Шаблон — графический файл с расширением .DWT. Этот файл содержит информацию о размерах чертежа, принятых единицах измерения, параметрах слоев и настройках режима черчения. После выбора этого режима программа AutoCAD 2002 выведет в центре диалогового окна Start Up список всех доступных шаблонов, из которого пользователь выбирает необходимый. Заметим, что любой существующий чертеж может быть сохранен в качестве шаблона, для этого в диалоговом окне **Save Drawing As** в раскрывающемся списке Files of type нужно выбрать строку **AutoCAD Drawing Template File (\*.DWT)**. Затем в текстовом поле File name введите имя нового шаблона и щелкните на кнопке Save.

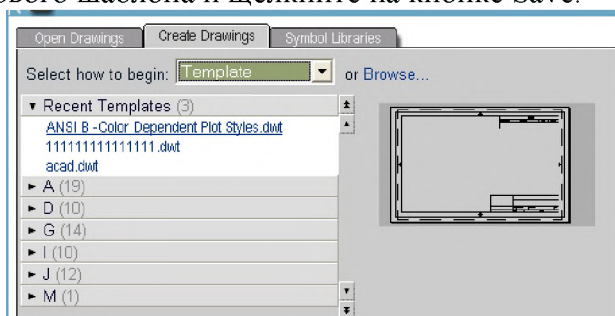


Рис. 1.5 Закладка Use a Template диалогового окна AutoCAD 2002 Today

- c) Кнопка **Use a Wizard** (рис. 1.6) позволяет начать новый чертеж с параметрами, которые устанавливает специальный мастер. Возможны два способа подготовки рабочей среды: быстрый (Quick Setup) и детальный (Advanced Setup). В первом случае задаются формат единиц измерения линейных величин и границы чертежа. Во втором случае необходимо задать формат единиц измерения линейных и угловых величин, начало и направление отсчета измерения угла и границы чертежа.

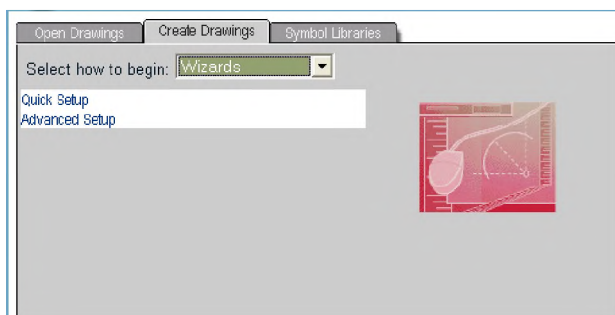


Рис. 1.6 Закладка Use a Wizard диалогового окна AutoCAD 2002 Today



- Закладка **Symbol Libraries** (рис.2.7) позволяет загрузить библиотеку символов с параметрами установленными в системе AutoCAD 2002.

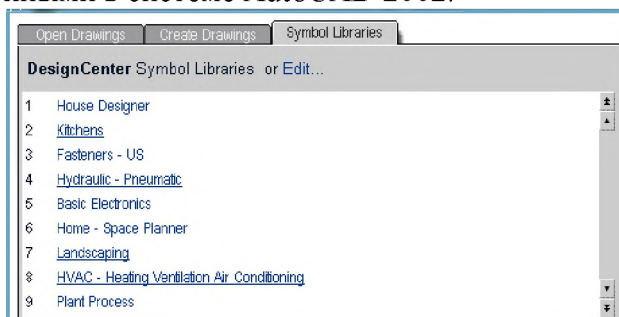


Рис. 1.7 Закладка Symbol Libraries диалогового окна AutoCAD 2002 Today

Сразу отметим близость графического интерфейса AutoCAD стандартам, применяемым в широко распространенных приложениях *Windows*, таких как Word, Excel, Access. Система имеет большое количество разнообразных диалоговых окон, которые являются удобным средством ввода параметров команд, так как позволяют видеть их все одновременно. Любое диалоговое окно имеет область заголовка, где приведены пиктограмма окна, его имя и кнопки управления состоянием окна. Размеры окон могут быть либо постоянными, либо изменяемыми. Окно можно перемещать с помощью курсора в рабочей зоне главного окна AutoCAD 2002. В окне могут располагаться несколько вкладок, каждая из которых снабжена ярлыком. Выбор вкладки осуществляется щелчком мыши по соответствующему ярлыку. Основными управляющими элементами диалоговых окон являются кнопки, поля и списки.

### 1.3 Рабочий стол AutoCAD

Главное окно программы AutoCAD (рис. 2.1) можно разделить на следующие функциональные зоны:

1. строка заголовка;
2. строка выпадающих меню;
3. панели инструментов;
  - 3.1 панель - Standard Toolbar;
  - 3.2 панель - Object Properties;
  - 3.3 панель – Draw;
  - 3.4 панель – Modify.
4. рабочая зона;
5. зона окна команд;
6. строка состояния.

**Строка заголовка** содержит значок пакета AutoCAD 2002, название текущего чертежа и кнопки управления окном. Выбор значка приводит к появлению системного меню управления окном, с помощью которого можно свернуть окно до минимального размера, восстановить его до предыдущего размера или развернуть окно до максимального размера, также можно изменять размеры окна и перемещать его на экране монитора. Кнопки управления окном, находящиеся в правой части строки заголовка, дублируют, в основном, системное меню.

**Строка выпадающих меню** (вторая строка сверху) содержит названия меню, в которых по функциональному признаку сгруппированы часто используемые команды AutoCAD. Команды в таких меню могут располагаться на нескольких уровнях (отличительный признак — сплошной треугольник в конце строки с именем команды). Если за именем команды идет многоточие, это означает, что параметры команды определяются в диалоговом окне. Обычно в строке меню слева направо указываются названия следующих выпадающих меню:

- Меню **File (Файл)** – содержит набор команд для работы с файлами;
- Меню **Edit (Правка)** – меню редактирования частей графического поля рабочего стола AutoCAD 2002;
- Меню **View (Вид)** – содержит команды управления экраном, панорамирования, переключения режимов пространства листа и пространства модели, установки «точки зрения», удаления невидимых линий, закраски, тонирования, управления параметрами дисплея, позволяет устанавливать необходимые панели инструментов;
- Меню **Insert (Вставка)** – обеспечивает вставку блоков, внешних объектов и объектов других приложений;
- Меню **Format (Формат)** – обеспечивает работу со слоями, цветом, типами линий, управляет стилем текста, размеров, видом маркера точки, стилем мультитинии, установку единиц измерения, границ чертежа;
- Меню **Tools (Сервис)** – содержит средства управления системой, экраном пользователя, включает установку параметров черчения и привязок с помощью диалоговых окон, обеспечивает работу с пользовательской системой координат;
- Меню **Draw (Рисование)** – содержит команды рисования;
- Меню **Dimension (Размеры)** – содержит команды простановки размеров и управления параметрами размеров;
- Меню **Modify (Редактирование)** – включает наборы команд редактирования элементов чертежа;
- Меню **Windows** содержит средства управления окнами при работе в многооконном режиме.
- Меню **Help** содержит средства справочной системы AutoCAD 2002.




**Инструментальные панели - Standard Toolbar, Object Properties, Draw и Modify**, как правило, постоянно присутствующие в главном окне при работе с пакетом, содержат инструменты, соответствующие наиболее часто используемым командам AutoCAD. Они представляют пользователю удобное средство для быстрого выполнения команд и процедур. Для того чтобы выполнить команду, представленную на панели инструментов соответствующей кнопкой, достаточно щелкнуть мышью на этой кнопке.


Панели инструментов **Standard Toolbar** и **Object Properties** располагаются под строкой выпадающих меню (рис. 1.8).



Рис. 1.8 Панели инструментов Standard Toolbar и Object Properties редактора AutoCAD 2002

Панель **Standard Toolbar** в пакете AutoCAD 2002 выполнена аналогично подобным элементам других современных приложений *Windows*. Это удобно, потому что базовые инструменты располагаются в привычных местах и обозначаются стандартными значками. Краткая информация о назначении отдельных кнопок этой панели приведена ниже.

- Кнопка **New**  позволяет открыть новый файл чертежа.
- Кнопка **Open**  позволяет открыть существующий файл чертежа.
- Кнопка **Save**  обеспечивает быстрое сохранение файла чертежа без выхода из графического редактора.

- Кнопка **Plot**  позволяет вывести чертеж на плоттер (принтер) или в файл для последующего получения твердой копии чертежа.
- Кнопка **Plot Preview**  обеспечивает предварительный просмотр чертежа на экране монитора перед выводом его на плоттер или принтер для получения твердой копии.
- Кнопка **Find and Replace**  позволяет осуществить поиск и замену символов в текстовых фрагментах текущего чертежа.
- Кнопка **Cut to Clipboard**  позволяет скопировать предварительно указанные объекты чертежа в буфер обмена *Windows* и удалить их из текущего чертежа.
- Кнопка **Copy to Clipboard**  позволяет скопировать предварительно указанные объекты чертежа в буфер обмена *Windows*.
- Кнопка **Paste from Clipboard**  позволяет вставить содержимое буфера обмена *Windows* в текущий чертеж.
- Кнопка **Match Properties**  позволяет присвоить свойства указанного объекта чертежа другому объекту.
- Кнопка **Undo**  позволяет отменить последнее выполненное действие.
- Кнопка **Redo**  позволяет восстановить изменения, сделанные предыдущей командой Undo.
- Кнопка **Pan Realtime**  используется для перемещения окна AutoCAD в режиме реального времени, чтобы просмотреть части большого чертежа, которые не видны на экране монитора.
- Кнопка **Zoom Realtime**  позволяет изменять в режиме реального времени масштаб изображения на экране монитора.
- Кнопка **Zoom flyout**  содержит раскрывающуюся панель с инструментами для изменения масштаба изображения на экране монитора.
- Кнопка **Zoom Previous**  позволяет вернуться к предыдущему масштабу изображения.
- Кнопка **Properties**  открывает диалоговое окно *Properties*, с помощью которого можно изменять свойства объектов.

Инструментальная панель **Object Properties** чаще всего располагается под строкой панели *Standard Toolbar*. Она содержит инструменты, облегчающие работу со слоями и свойствами линий. Более подробная работа с панелью **Object Properties** будет описана в следующих лабораторных работах.

Панели инструментов **Draw** (рис. 1.9) и **Modify** (рис. 1.10) обычно располагаются в рабочей зоне окна AutoCAD слева. Они содержат инструменты с наиболее часто используемыми командами для вычерчивания примитивов и их редактирования. Подробное описание этих команд и способов работы с ними будет представлено в следующих лабораторных работах.

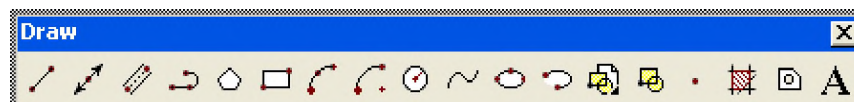


Рис. 1.9 Панель инструментов Draw



Рис. 1.10 Панель инструментов Modify

Помимо упомянутых панелей инструментов программа AutoCAD располагает большим количеством других панелей, перечень которых приведен в списке Toolbars диалогового окна **Customize** (рис. 1.11) (всего 26 панелей). Для того чтобы открыть нужную панель инструментов, пользователь может воспользоваться одним из трех способов:

- 1) Щелкнуть правой кнопкой мыши на поле любой ранее открытой панели. При этом на экране монитора появится список существующих панелей инструментов, состав которого определяется текущей группой меню. Инструментальные панели, уже присутствующие в главном окне AutoCAD, отмечены в списке галочками. Чтобы открыть новую панель инструментов, достаточно щелчком мыши отметить ее в списке.
- 2) Открыть выпадающее меню View и выбрать позицию Toolbars. В открывшемся диалоговом окне Customize выбрать вкладку Toolbars. Чтобы открыть новую панель инструментов, достаточно установить флажок в соответствующей строке списка.
- 3) Ввести команду TOOLBAR, которая открывает диалоговое окно Customize.

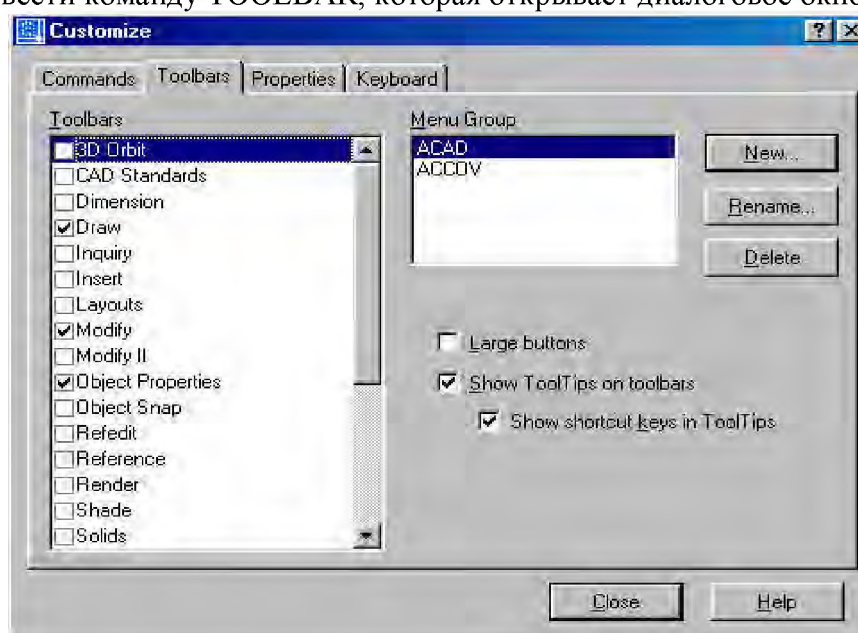


Рис. 1.11 Настройка панелей инструментов

Любую активную панель инструментов можно перемещать по рабочему полю и, кроме того, система AutoCAD разрешает изменять форму панели. В стандартном положении, когда панель инструментов закреплена в позиции вдоль верхней, нижней или боковой сторон экрана, она не имеет строки заголовка. Для изменения местоположения такой панели на рабочем поле необходимо:

- переместить указатель мыши на край панели так, чтобы он изменил форму и ни один значок при этом не был бы выбран;

- нажать левую кнопку мыши (при этом появится серый прямоугольник) и, не отпуская ее, переместить указатель в новое положение на рабочем поле;
- отпустить кнопку, чтобы зафиксировать новое положение панели.

Диалоговое окно **Customize** можно также открыть из контекстного меню. Для этого необходимо поместить указатель мыши в область любой инструментальной панели и нажать правую кнопку мыши, а затем в открывшемся контекстном меню выбрать пункт **Customize**.

Диалоговое окно **Customize** управляет выводом панелей инструментов на рабочее поле AutoCAD, позволяет осуществлять настройку существующих панелей, создавать новые и удалять ненужные панели инструментов.

Окно содержит четыре вкладки: **Commands**, **Toolbars**, **Properties** и **Keyboard**:

- Вкладка **Commands** позволяет добавлять и удалять кнопки на существующих панелях инструментов, а также позволяет создавать новые панели инструментов.
- Вкладка **Toolbars** позволяет управлять видимостью панелей инструментов в главном окне AutoCAD, а также позволяет создавать, переименовывать и удалять панели инструментов. Список **Toolbars** содержит перечень панелей инструментов, приведенный ниже:
  - Панель **3D Orbit** содержит команды, позволяющие управлять просмотром объектов в трехмерном пространстве.
  - Панель **CAD Standards** содержит команды, обеспечивающие соответствие чертежей принятым правилам оформления (проверка параметров слоев, размерных и текстовых стилей, типов линий и т. д.).
  - Панель **Dimension** содержит команды, используемые для нанесения размеров на чертежах.
  - Панель **Draw** содержит команды, используемые для вычерчивания примитивов AutoCAD.
  - Панель **Inquiry** содержит команды, используемые для наведения справок о существующих объектах AutoCAD (длина, площадь, масса, координаты точек).
  - Панель **Insert** содержит команды, используемые для вставки в текущий чертеж блоков, внешних ссылок, растровых изображений и - объектов *OLE*.
  - Панель **Layouts** содержит команды, используемые для создания новых компоновок пространства листа.
  - Панель **Modify** содержит команды, используемые для редактирования существующих объектов.
  - Панель **Modify II** содержит команды, используемые для редактирования сложных объектов.
  - Панель **Object Properties** содержит команды, используемые для изменения свойств объектов.
  - Панель **Object Snap** содержит команды, используемые для выбора и настройки режимов объектной привязки.
  - Панель **Refedit** содержит команды, используемые для редактирования блоков и внешних ссылок.
  - Панель **Reference** содержит команды, используемые для управления внешними ссылками и растровыми изображениями.
  - Панель **Render** содержит команды, используемые для создания реалистических изображений трехмерных моделей.
  - Панель **Shade** содержит команды, используемые для выполнения раскрашивания трехмерных моделей.



- Панель **Solids** содержит команды, используемые для создания твердотельных объектов.
- Панель **Solids Editing** содержит команды, используемые для редактирования твердотельных объектов.
- Панель **Standard Toolbar** содержит команды, используемые для управления изображением на экране, наиболее часто употребляемые команды редактирования объектов и стандартные средства приложений *Windows*.
- Панель **Surfaces** содержит команды, используемые для создания трехмерных поверхностей.
- Панель **Text** содержит команды, используемые для создания и редактирования текстов.
- Панель **UCS** содержит команды, используемые для задания рабочей плоскости.
- Панель **UCS II** содержит команды, используемые для работы с именованными и стандартными рабочими плоскостями.
- Панель **View** содержит команды, используемые для выбора стандартных основных видов изделия.
- Панель **Viewports** содержит команды, используемые для создания и размещения видовых экранов.
- Панель **WEB** содержит команды, используемые для работы с Интернетом.
- Панель **Zoom** содержит команды, используемые для изменения размеров текущего вида.
- Вкладка **Properties** позволяет редактировать свойства инструментов и изменять изображения пиктограмм, представляющих эти инструменты на инструментальной панели. В зависимости от выбора инструмента — кнопка или выпадающая панель — система открывает различные диалоговые окна: **Button Properties** или **Flyout Properties**:
  - Диалоговое окно **Button Properties** - средство модификации кнопок панелей инструментов
  - Диалоговое окно **Flyout Properties** содержит одну панель и список, где перечислены существующие выпадающие панели инструментов и группы меню, которым принадлежат эти панели инструментов.
- Вкладка **Keyboard** позволяет создавать новые и просматривать существующие сочетания «быстрых клавиш» (сочетание клавиши CTRL или клавиш CTRL+SHIFT с каким-либо символом).

Быстрота и легкость редактирования существующих панелей инструментов с помощью средств диалогового окна **Customize** часто вызывает у начинающих пользователей желание модифицировать стандартные панели инструментов, однако не рекомендуется изменять стандартные панели. Если необходима индивидуальная настройка, то следует создавать и использовать собственные панели инструментов.

**Рабочая зона** — это наибольшая область главного окна программы AutoCAD, в которой вычерчиваются различные фрагменты чертежа. Одновременно могут быть открыты окна для нескольких чертежей. В левом нижнем углу рабочей зоны размещена пиктограмма текущей пользовательской системы координат. Направление стрелок пиктограммы совпадает с положительным направлением соответствующих осей системы координат. Управление пиктограммой осуществляется командой UCSICON. Внизу рабочей зоны находятся заголовки вкладок Model и Layout.

**Зона окна команд** обычно располагается в нижней части экрана перед строкой состояния (самая нижняя строка главного окна AutoCAD) (рис. 1.12).



Рис. 1.12 Зона окна команд диалогового окна AutoCAD 2002.

Окно служит для ввода команд и ведения диалога с системой, уточняющего действие этой команды. Задать команду системе можно, набрав ее имя с помощью клавиатуры в командной строке. В окне команд по умолчанию размещаются три командные строки. Самая нижняя строка показывает текущую команду, а верхние — предыдущие команды или сообщения системы. Необходимо внимательно следить за выводимыми в окне команд сообщениями, поскольку таким образом поддерживается связь пользователя с системой AutoCAD.

**Строка состояния** – самая нижняя строка главного окна AutoCAD (рис. 1.13). В левой части строки состояния отображаются текущие координаты перекрестия графического курсора. Они изменяются при перемещении перекрестия в пределах рабочей зоны экрана монитора.

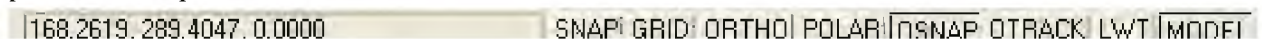


Рис. 1.13 Строка состояния диалогового окна AutoCAD

Кроме того, **строка состояния** содержит индикаторы режима черчения, которые информируют, в каком из режимов вы работаете в настоящий момент. Изображение нажатой кнопки соответствует включенному состоянию режима, а изображение ненажатой кнопки — выключенному. Для переключения режима достаточно щелкнуть мышью на изображении соответствующей кнопки. Включение/выключение режимов черчения осуществляется также командами SNAP, GRID, ORTHO или DSETTINGS.

### Мышь

Манипулятор мышь представляет собой дополнительное устройство позиционирования, которое позволяет перемещать графический указатель на экране монитора за счет движения мыши по поверхности стола. С помощью мыши можно открыть файл чертежа, выбрать объект или пункт меню, осуществить различные действия по редактированию объектов чертежа, настроить панели инструментов, управлять окнами и т. д.

Функции кнопок двухкнопочной мыши следующие:

- левая кнопка служит для выбора объектов, пунктов меню или кнопок панелей инструментов;
- правая кнопка служит для вызова контекстного меню либо по своему действию соответствует нажатию клавиши ENTER клавиатуры. Режим функционирования кнопки выбирает пользователь.

Специальные клавиши CTRL и SHIFT могут изменять эффект, вызываемый стандартными действиями мыши. Например, одновременное нажатие клавиши SHIFT и правой кнопки мыши приводит к появлению на экране монитора контекстного меню режимов объектной привязки.

Указатель мыши на экране монитора обычно выглядит в виде перекрестия с небольшим прямоугольником, который служит для указания и выбора графических элементов чертежа. Однако при выполнении конкретных операций вид указателя может изменяться.

### Алфавитно-цифровая клавиатура

Подобно большинству сложных программ, AutoCAD использует все возможности, представляемые клавиатурой. Любая клавиатура содержит основную и цифровую части, специальные и функциональные клавиши. Ниже описано назначение некоторых специальных и функциональных клавиш алфавитно-цифровой клавиатуры, часто используемых при работе с пакетом AutoCAD.

- Клавиша **ESC** служит для отмены ошибочно введенной команды.
- Клавиши **ENTER** и **SPACE** служат для запуска на исполнение только что введенной команды.

- Клавиша **ТАВ** позволяет перемещаться в диалоговом окне с одного поля на другое.

Клавиши **F1-F12**, расположенные в верхней части алфавитно-цифровой клавиатуры, используют для быстрого переключения режимов черчения.

- Клавиша **F1** открывает предметный указатель справочной системы AutoCAD.
- Клавиша **F2** включает или отключает текстовое окно.
- Клавиша **F3** включает или отключает режим объектной привязки.
- Клавиша **F4** включает или отключает планшет.
- Клавиша **F5** последовательно переключает плоскости проекций в изометрии.
- Клавиша **F6** включает или отключает режим отображения координат графического курсора в строке состояния.
- Клавиша **F7** включает или отключает режим отображения фоновой вспомогательной сетки на экране монитора.
- Клавиша **F8** включает или отключает режим Ortho.
- Клавиша **F9** включает или отключает режим Snap.
- Клавиша **F10** включает или отключает режим Polar Tracking.
- Клавиша **F11** включает или отключает режим Object Snap Tracking.

#### **1.4 Последовательность выполнения работы**

- 1. Изучите теоретические сведения.**
- 2. Произведите запуск системы AutoCAD.**
- 3. Наглядно ознакомьтесь с главным окном AutoCAD.**
- 4. Изучите стандартные инструментальные панели AutoCAD.**
- 5. Произведите установку на рабочем столе инструментальных панелей Dimension и Text.**
- 6. Просмотрите и опробуйте командную строку и строку состояния рабочего стола AutoCAD.**
- 7. Рассмотрите работу Манипулятора мышью и Алфавитно-цифровой клавиатуры.**
- 8. Получите индивидуальное задание от преподавателя и выполните его.**
- 9. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.**

#### **1.5 Контрольные вопросы**

- 1. Как производится запуск программы AutoCAD?**
- 2. Назовите назначение пунктов главного меню.**
- 3. Как осуществляется выход из системы AutoCAD?**
- 4. Назовите назначение панели выпадающих меню.**
- 5. Перечислите назначение операций, выполняемых с помощью инструментальных панелей.**
- 6. Для чего предназначена - Зона окна команд?**
- 7. Для чего используется объектная привязка Customize?**
- 8. Каково назначение Строки состояния?**
- 9. Какие возможности можно осуществить с помощью Манипулятора мышью и Алфавитно-цифровой клавиатуры?**



# Лабораторная работа №2

## Настройка системной среды AutoCAD

### 1 Общие положения

**Цель работы:** В лабораторной изложены основные понятия и принципы работы с файлами системной среды **AutoCAD**, приведено описание предварительной настройки системной среды **AutoCAD 2002** и ее модификации, рассматривается полезный и удобный способ, основанный на технике слоев, представлены возможные средства настройки слоев и описаны способы установки режимов черчения.

### 2 Чертеж в системе AutoCAD

Чертеж в системе AutoCAD — это файл, содержащий описание графической и иной информации в специальном формате (.DWG).

В процессе работы над чертежом он временно хранится в оперативной памяти компьютера. Длительное хранение чертежей осуществляется на жестком или гибком дисках.

Для работы с файлами система имеет обычные возможности приложений Windows: меню **File** и соответствующие кнопки стандартной панели инструментов. В меню **File** находятся команды, позволяющие сохранить чертеж, вызвать существующий чертеж для редактирования, закрыть чертеж.

- **New** — начать новый чертеж;
- **Open** — открыть существующий чертеж;
- **Close** — закрыть текущий чертеж;
- **Partial Load** — открыть другую часть загруженного чертежа (команда доступна только в случае частичного открытия чертежа);
- **Save** — сохранить текущий чертеж;
- **Save As** — сохранить текущий чертеж под другим именем.

Для сохранения файла чертежа на жестком диске необходимо выполнить следующие действия:

- щелкнуть на пункте **File** в строке заголовков меню главного окна AutoCAD;
- щелкнуть на пункте **Save** меню **File**;
- выбрать в открывшемся диалоговом окне **Save Drawing As** папку для хранения файла чертежа;
- ввести имя файла (без расширения);
- щелкнуть на кнопке **Save**.

Имя файла может иметь длину до 255 символов, включая пробелы. В нем можно использовать прописные и строчные буквы, цифры и специальные символы: дефис, подчеркивание и восклицательный знак.

**Запрещается использовать следующие символы:**

- звездочка;
- двоеточие;
- точка с запятой;
- знак вопроса;
- символы наклонной черты (прямой и обратный);
- кавычки;
- знаки «больше» и «меньше».

Точки допустимы только в качестве разделителя между именем и расширением файла.

По умолчанию файлы чертежей записываются в корневой каталог системы AutoCAD. Такое хранение крайне неудобно и опасно: можно по ошибке вместе с ненужными файлами чертежей удалить важные системные файлы. Мы рекомендуем использовать для хранения чертежей отдельные папки и тщательно продумать их структуру. Для создания новой папки в процессе сохранения чертежа (диалоговое окно Save Drawing As) необходимо нажать правую кнопку мыши, затем выбрать в контекстном меню пункты Создать и Папка.

### 3 Диалоговое окно Options

В программе **AutoCAD 2002** предварительную настройку системной среды и ее модификацию в процессе работы можно осуществлять при помощи диалогового окна **Options** (рис.3.1). Окно открывается командой **OPTIONS** и содержит девять вкладок: **Files**, **Display**, **Open and Save**, **Plotting**, **System**, **User Preferences**, **Drafting**, **Selection**, **Profiles**, параметры которых оптимизируют работу AutoCAD с конкретным аппаратным обеспечением. Эту же команду содержит меню **Tools**, ее можно выбрать и из контекстного меню, поместив указатель мыши в область командной строки или в рабочую зону, а затем нажать правую кнопку мыши.

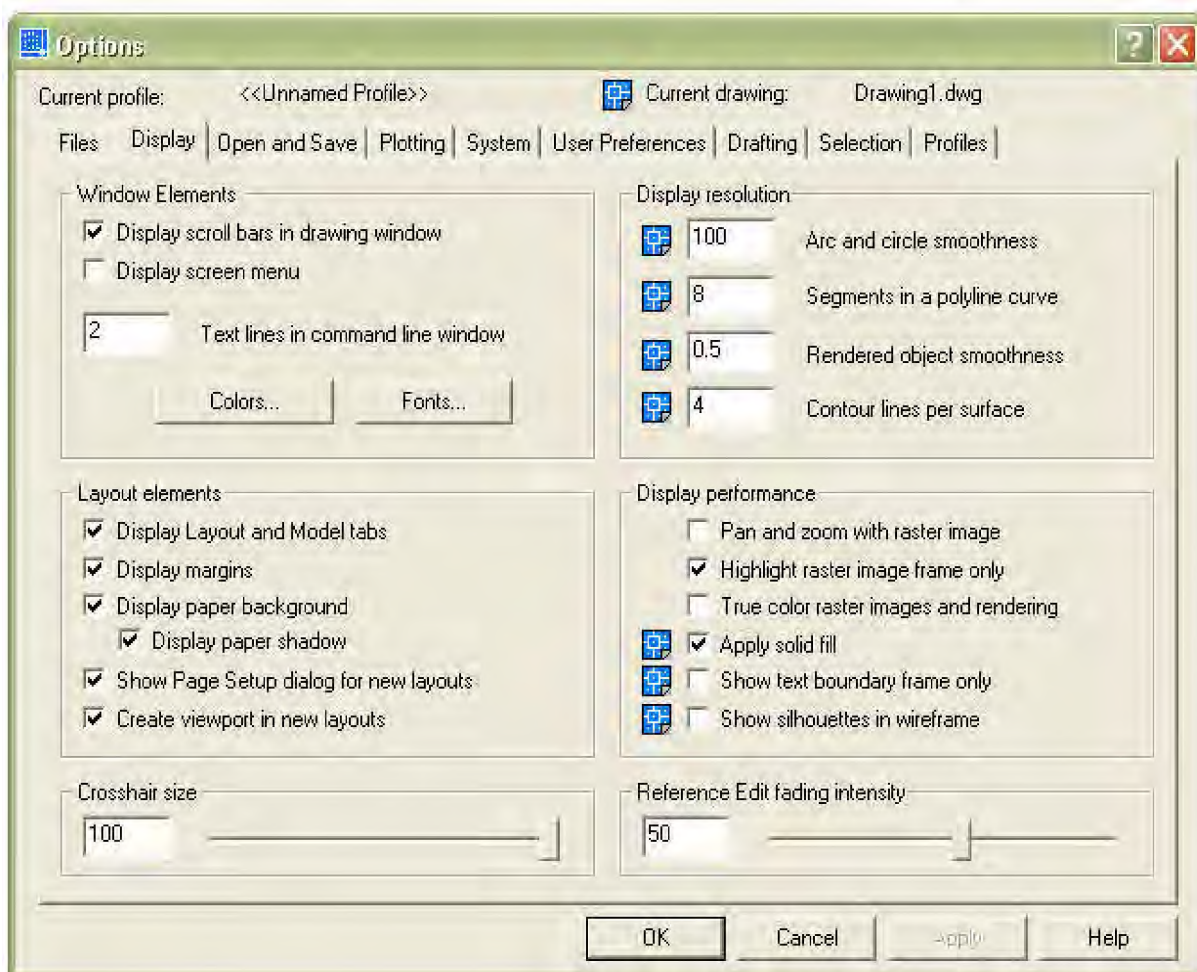


Рис. 3.1 Диалоговое окно Options

В диалоговом окне **Options** выберите вкладку, а затем — параметр настройки, который хотите изменить. Для того чтобы программа отреагировала на изменение значения параметра, щелкните на кнопке **Apply**, если хотите продолжить настройку системы, или на кнопке **OK**, если настройка закончена. Далее приводится краткая информация о параметрах вкладок:

- Вкладка **Files** позволяет установить имена файлов и папок (каталогов) программного обеспечения в соответствии с требованиями системы;
- Вкладка **Display** управляет внешним видом главного окна системы AutoCAD 2002 при работе как в пространстве листа, так и в пространстве модели;
- Вкладка **Open and Save** обеспечивает настройку операций сохранения и открытия чертежных файлов. Файлы автоматически сохраняются в формате AutoCAD 2000. Диалоговое окно содержит пять панелей;
- Вкладка **Plotting** обеспечивает настройку общих параметров управления графопостроителем, выбор его конфигурации, выбор стиля печати и способов обработки объектов OLE. Вкладка содержит три панели;
- Вкладка **System** помогает пользователю установить общие параметры настройки системы AutoCAD. Здесь можно выбрать режим работы с несколькими чертежами одновременно или установить режим работы с одним чертежом, выбрать способ конфигурации для мыши, разрешить использование длинных имен, запретить появление диалогового окна AutoCAD 2002 Today при открытии нового файла и т.д.;
- Вкладка **User Preferences** позволяет настроить систему в соответствии с индивидуальными требованиями пользователя. Вкладка содержит шесть панелей и кнопку **Lineweight Settings**;
- Вкладка **Drafting** позволяет управлять настройкой режимов автоматической объектной привязки AutoSnap (используется для предварительного просмотра и оценки точек привязки) и автоматического отслеживания AutoTrack (используется для расширения возможности определения точек относительно геометрии другого объекта);
- Вкладка **Selection** позволяет управлять методами выбора объектов в системе AutoCAD, инструментальными средствами выбора и настройкой режима работы средства редактирования Grips;
- Вкладка **Profiles** позволяет создавать и сохранять профили пользователей (набор параметров настройки системы, определенных в диалоговом окне Options). Профили нужны, если для работы с разными проектами используются различные настройки системы. По умолчанию, программа AutoCAD автоматически сохраняет текущие параметры в профиле с именем UNNAMED PROFILE. Имя текущего профиля (так же как и имя текущего чертежа) всегда отображается в верхней части диалогового окна Options. Информация о текущих параметрах настройки (в том числе о конфигурации меню) сохраняется в системном реестре и может быть сохранена в текстовом файле с расширением **.ARG**. Следовательно, если вы сохраняете профиль, то он может быть перенесен на другой компьютер.

Заметим, что при работе с системой AutoCAD для начинающих задача настройки системной среды может ограничиться настройкой цвета и внешним видом главного окна системы AutoCAD. Для этого необходимо воспользоваться в диалоговом окне **Options** вкладками **Display**. Изменять остальные значения настроек параметров обычно не требуется и они остаются без изменения.

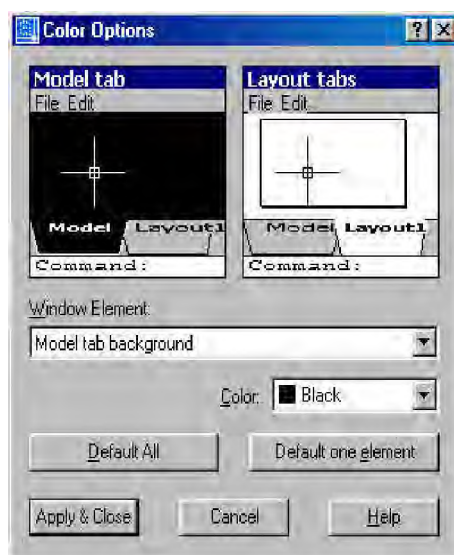
Вкладка **Display** (рис. 3.1) содержит шесть панелей **Window Elements**, **Display Resolution**, **Display Performance**, **Display Performance**, **Crosshair Size** и **Reference Fading**

**Intensity.** Все они отвечают за основные параметры окна AutoCAD. Мы рассмотрим лишь часть всех их возможностей.

Расположенные в нижней части панели **Window Elements** кнопки **Colors** и **Fonts** открывают диалоговые окна для управления, соответственно, цветом и шрифтами элементов главного окна AutoCAD.

Рассмотрим диалоговое окно **Color Options** (рис. 3.2), которое управляет цветом элементов главного окна AutoCAD. Окно содержит две панели, два раскрывающихся списка и две кнопки.

- Панель **Model Tab** отображает текущий цвет элементов главного окна при работе в пространстве модели. С помощью курсора здесь можно выбрать элемент главного окна, цвет которого желательно изменить. После указания элемента окна в раскрывающемся списке **Window Element** устанавливается соответствующее значение.
- Панель **Layout Tabs** отображает текущий цвет элементов главного окна при работе в пространстве листа. С помощью курсора здесь можно выбрать элемент главного окна, цвет которого желательно изменить. После указания элемента окна в раскрывающемся списке **Window Element** устанавливается выбранный цвет.



*Рис. 3.2* Настройка цвета элементов главного окна AutoCAD 2002

Раскрывающийся список **Window Element** позволяет выбрать из перечня элементов главного окна тот элемент, цвет которого желательно изменить:

- цвет фона при работе в пространстве модели (Model Tab Background);
- цвет фона при работе в пространстве листа (Layout Tabs Background);
- цвет графического курсора при работе в пространстве модели (Model Tab Pointer);
- цвет графического курсора при работе в пространстве листа (Layout Tabs Pointer);
- цвет фона окна команд (Command Line Background);
- цвет текста сообщений в окне команд (Command Line Text);
- цвет векторов трассировки (AutoTracking Vector Color);
- цвет фона при предварительном просмотре чертежа (Plot Preview Background).

Раскрывающийся список **Color** позволяет назначить цвет для элемента главного окна, выбранного в списке **Window Element** или на панелях **Model Tab** и **Layout Tabs**. Если приведенный в списке набор цветов не устраивает пользователя, следует обратиться к цветовым палитрам AutoCAD или Windows (кнопки **More...** или **Windows**). Диалоговые окна **Select Color** и **Цвет** весьма наглядны и не требуют специальных пояснений.

Кнопка **Default All** позволяет вернуть значения всех параметров управления цветом элементов главного окна в состояние, определенное по умолчанию.

Кнопка **Default One Element** позволяет вернуть значение одного выбранного параметра управления каким-либо элементом главного окна в состояние, определенное по умолчанию.

В нижней части вкладки **Display** расположены две панели: **Crosshair Size** и **Reference Fading Intensity**.

- Панель **Crosshair Size** позволяет установить, с помощью поля ввода или шкалы, размер перекрестия графического курсора в процентах от размера экрана. Числовое значение размера курсора задают в поле ввода. Допустимый диапазон — от 1 до 100 процентов, по умолчанию размер курсора — 5%. Вы можете также установить размер перекрестия графического курсора, используя системную переменную **CURSORSIZE**.
- Панель **Reference Fading Intensity** позволяет установить, с помощью поля ввода или шкалы, значение интенсивности подсветки окружающих объектов при редактировании блоков и внешних ссылок. Объекты, которые не редактируются, отображаются с меньшей интенсивностью. Числовое значение интенсивности подсветки задают в поле ввода. Допустимый диапазон — от 0% до 90%. Значение по умолчанию — 50%. Текущее значение параметра хранится в системной переменной **XFADECTL**.

## 4 Инструментальная панель **Object Properties**

Инструментальная панель **Object Properties** (рис. 4.1). чаще всего располагается под строкой панели **Standard Toolbar** и содержит инструменты, облегчающие работу со слоями и свойствами линий.

- Кнопка **Make Object's Layer Current** позволяет установить слой выбранного объекта в качестве текущего.
- Кнопка **Layers** открывает диалоговое окно **Layer Properties Manager** (рис. 4.2), в котором пользователю представлены средства для работы со слоями и редактирования их свойств. Работа с этим окном будет описана ниже.
- Кнопка **Layer Previous** позволяет восстановить предыдущее состояние слоя.
- Раскрывающийся список **Layer Control** служит для управления слоями. Каждый пункт списка содержит пять значков, описывающих его состояние (статус): включен/выключен ; заморожен/разморожен; блокирован/разблокирован; вычерчивается/не вычерчивается при получении твердой копии; цвет и имя слоя.
- Раскрывающийся список **Color Control** служит для управления цветом объектов.
- Раскрывающийся список **Linetype Control** служит для управления типами линий и обеспечения доступа к диалоговому окну загрузки новых типов линий.
- Раскрывающийся список **Lineweight Control** служит для выбора текущей толщины линии.

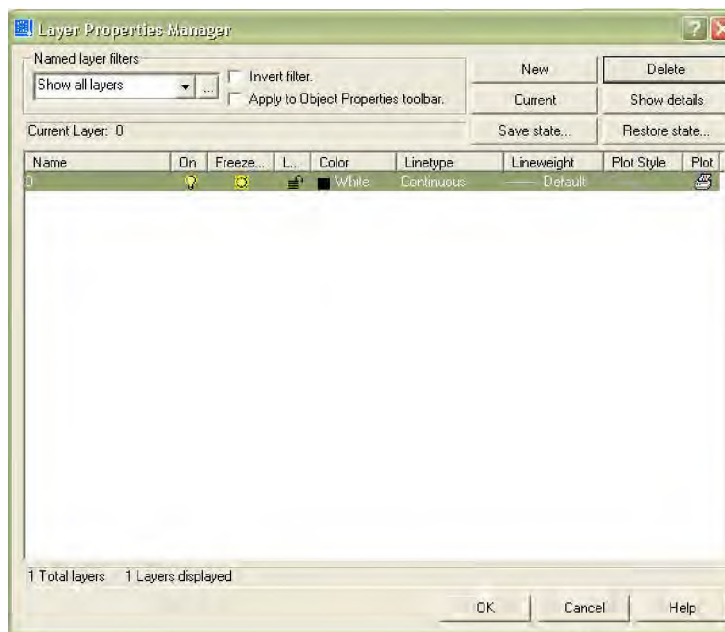
- Раскрывающийся список **Plot Style** служит для управления стилем вывода изображения на плоттер. Список доступен только при использовании именованных стилей печати.



*Рис. 4.1* Панель инструментов **Object Properties**

В процессе работы с системой AutoCAD для структурирования графической информации применяется полезный и удобный способ, основанный на технике слоев. Слой — это мощное средство для логической группировки данных, подобное наложению друг на друга прозрачных калек с фрагментами чертежа. Таким образом, чертеж представляется в виде неограниченного множества слоев, на каждом из которых могут быть размещены различные объекты. Слой может отображаться на экране монитора отдельно или в комбинации с другими слоями, он может быть включен, выключен или заблокирован для редактирования.

Каждый слой имеет свое имя (имя слоя может содержать до 255 символов) и характеризуется цветом, типом и толщиной линий, которые устанавливаются для всех объектов, принадлежащих слою. Кроме того, каждому слою может быть разрешен или запрещен вывод объектов, принадлежащих слою, на устройство печати. Поэтому, вместо того чтобы указывать эти свойства для каждого объекта, можно пользоваться их значениями для данного слоя, если они соответствуют вашим желаниям. Средства для работы со слоями и редактирования их свойств открывает диалоговое окно **Layer Properties Manager** (рис. 4.2).



*Рис. 4.2* Диалоговое окно **Layer Properties Manager**

Диалоговое окно **Layer Properties Manager** позволяет отфильтровать список слоев по различным критериям, перечень которых приведен в раскрывающемся диалоговом окне Named Layer Filters. В окне имеются инструменты, позволяющие сформировать набор критериев фильтра и присвоить ему имя:

- Кнопка **New** позволяет создать новый слой. После щелчка по этой кнопке в таблице слоев появится новое имя — по умолчанию это Layer 1. Свойства нового слоя система AutoCAD устанавливает также по умолчанию. Если желательно продублировать свойства существующего слоя в создаваемом слое, то



существующий слой нужно выделить перед щелчком по кнопке New. Если необходимо создать несколько слоев, то просто щелкните на кнопке New соответствующее число раз.

- Кнопка **Delete** позволяет удалить выделенный слой. Удаление слоя из таблицы происходит в том случае, если:
  - 1) выделенный слой не является текущим;
  - 2) выделенный слой не имеет объектов;
  - 3) выделенный слой не принадлежит внешней ссылке. Слои с именами 0 и Defpoint удалять нельзя.
- Кнопка **Current** позволяет назначить слой, выделенный в таблице, текущим слоем.
- Кнопка **Show details** открывает дополнительное окно внизу диалогового окна Layer Properties Manager, содержащее детальное представление свойств выделенного в таблице слоя. После того как дополнительное окно будет открыто, надпись на кнопке **Show details** будет заменена надписью **Hide details**.
- Кнопка **Save state...** открывает диалоговое окно **Save Layer States**, с помощью которого можно сохранить текущую комбинацию свойств и режимов состояния существующих слоев. После того как окно будет открыто, укажите имя комбинации в поле ввода, а затем установите на панелях Layer States и Layer Properties необходимые флажки.
- Кнопка **Restore State** открывает диалоговое окно **Layer States Manager** для управления сохраненными именованными комбинациями свойств и режимов состояния слоев.

Загрузка свойств новых слоев производится щелчком на соответствующей комбинации значков, характеризующих имя слоя, состояние слоя, его цвет; тип линии, вес линии и стиль вычерчивания. Характеристики слоев следующие:

- **Name** (Имя) – имя слоя, длиной от 1 до 31 символа;
- **On** (Вкл) – состояние включения слоя (включен или выключен);
- **Freeze in all VP** (Замороженный на всех ВЭ) – состояние замораживания относительно всех видовых экранов одновременно (заморожен или разморожен);
- **Lock** (Блокированный) – состояние блокирован или разблокирован;
- **Color** (Цвет) – текущий цвет для объектов слоя, у которых в качестве цвета задано значение **По Слою** (ByLayer);
- **Linetype** (Тип линии) – текущий тип линии для объектов слоя, у которых в качестве типа линии задано значение **По Слою** (ByLayer);
- **Lineweight** (Вес линии) – текущий вес линии для объектов слоя, у которых в качестве типа веса задано значение **По Слою** (ByLayer);
- **Plot Style** (Стиль печати) – стиль печати, применяемый при выводе к слою;
- **Plot** (Печать) – состояние объектов слоя относительно вывода на внешнее устройство (выводить или не выводить).

## 5 Инструментальная панель *Строка состояния*

**Строка состояния** — самая нижняя строка главного окна AutoCAD. В левой части строки состояния отображаются текущие координаты перекрестия графического курсора. Они изменяются при перемещении перекрестия в пределах рабочей зоны экрана монитора. Кроме того, строка состояния содержит индикаторы режима черчения, которые информируют, в каком из режимов вы работаете в настоящий момент. Изображение нажатой кнопки соответствует включенному состоянию режима, а изображение отжатой кноп-

ки — выключенному. Для переключения режима достаточно щелкнуть мышью на изображении соответствующей кнопки. Включение/выключение режимов черчения осуществляется также командами **SNAP**, **GRID**, **ORTHO** или **DSETTINGS**.

Имеются следующие индикаторы режима черчения.

- Индикатор **Snap Mode** включает или выключает режим шаговой привязки курсора (Snap), при котором графический курсор перемещается строго по узлам воображаемой сетки с заданным шагом.
- Индикатор **Grid Display** включает или выключает изображение фоновой вспомогательной сетки на экране монитора.
- Индикатор **Ortho Mode** включает или выключает ортогональный режим (Ortho), при котором система позволяет вычерчивать отрезки прямых линий, направленные строго вдоль осей координат.
- Индикатор **Polar Tracking** включает или выключает режим полярной трассировки, при котором система позволяет вычерчивать отрезки прямых линий под углами, кратными заданным пользователем, при этом на экране точками отображаются временные вспомогательные линии (линии трассировки), помогающие пользователю создавать новые объекты, точно позиционируя их по углу. Заметим, что режимы Ortho и Polar Tracking должны устанавливаться поочередно, их совместное действие не допускается.
- Индикатор **Object Snap** включает или выключает постоянные режимы объектной привязки, позволяющие пользователю задавать новые точки, опираясь на характерные точки существующих объектов.
- Индикатор **Object Snap Tracking** включает или выключает режим вычерчивания отрезков прямых линий от характерных точек существующих объектов под углами, кратными заданным пользователем, что позволяет точно позиционировать новые объекты относительно существующих.
- Индикатор **Show/Hide Lineweight** включает или выключает отображение толщины линии на экране монитора.
- Индикатор **Model or Paper space** служит для переключения из пространства модели в пространство листа и наоборот.

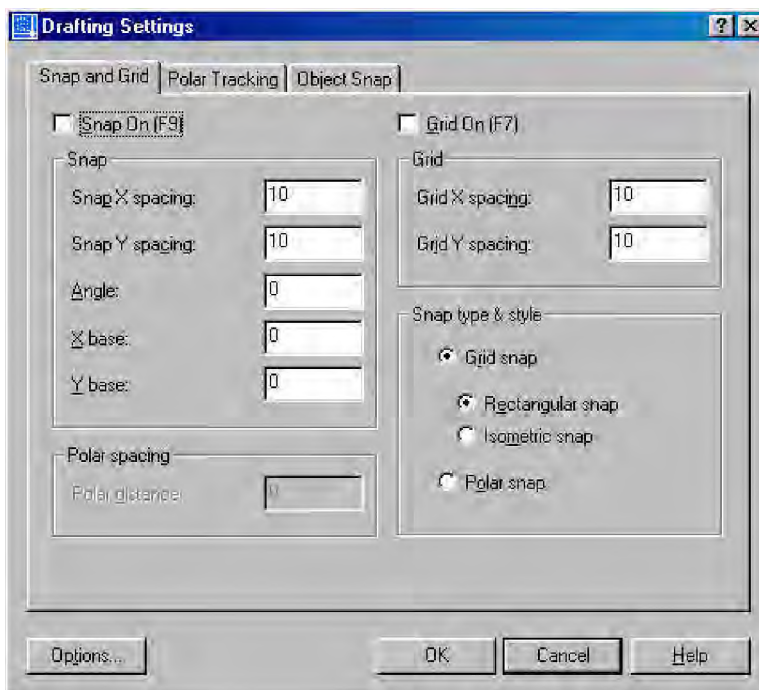
Настройка режимов черчения может быть выполнена с помощью диалогового окна **Drafting Settings**, которое вызывается либо с помощью пункта **Drafting Settings...** падающего меню **Tools**, либо с помощью пункта **Settings...** контекстного меню, вызываемого с помощью щелчка правой кнопкой мыши, если вы ставите ее указатель на одну из кнопок режимов (кроме кнопок **ORTHO**, **LWT**, **MODEL**). В ответ на команду система открывает диалоговое окно **Drawing Settings** (рис. 5.1), которое содержит три вкладки: **Snap and Grid**, **Polar Tracking**, **Object Snap**.

Вкладка **Snap and Grid** (рис. 5.1) диалогового окна **Drafting Settings** позволяет управлять режимом видимости фоновой вспомогательной сетки на экране монитора и режимом шаговой привязки. Вкладка содержит четыре панели и две кнопки переключателя:

- Флажок **Grid On** включает режим отображения вспомогательной фоновой сетки на экране монитора.
- Флажок **Snap On** включает режим шаговой привязки (режим перемещения курсора с фиксированным шагом).
- Панель **Grid** позволяет установить необходимый интервал между узлами вспомогательной сетки.
- Панель **Snap** позволяет установить параметры режима перемещения курсора с фиксированным шагом.



- Панель **Polar spacing** позволяет установить шаг перемещения курсора для режима полярной трассировки. Панель содержит одно поле ввода. Поле снабжено контекстным меню. **Polar distance** служит для задания числовой величины фиксированного шага перемещения курсора. Поле доступно при включенном режиме полярной трассировки **Polar tracking**.
- Панель **Snap type & style** позволяет определить режим перемещения курсора с фиксированным шагом.



*Рис. 5.1. Настройка вспомогательной фоновой сетки и режима шаговой привязки*

Вкладка **Polar Tracking** (рис. 5.2) диалогового окна **Drafting Settings** позволяет настроить параметры режима полярной трассировки. Вкладка содержит флажок **Polar Tracking On** и три панели:

- Флажок **Polar Tracking On** включает режим полярного отслеживания.
- Панель **Polar Angle Settings** позволяет установить числовое значение полярного угла, кратно которому будет выполняться отслеживание. Панель содержит раскрывающийся список, поле ввода, кнопку-переключатель и две кнопки.
- Панель **Object Snap Tracking Settings** позволяет управлять направлениями отслеживания.
- Панель **Polar Angle measurement** позволяет определить начало отсчета углов отслеживания. Панель содержит две кнопки выбора.

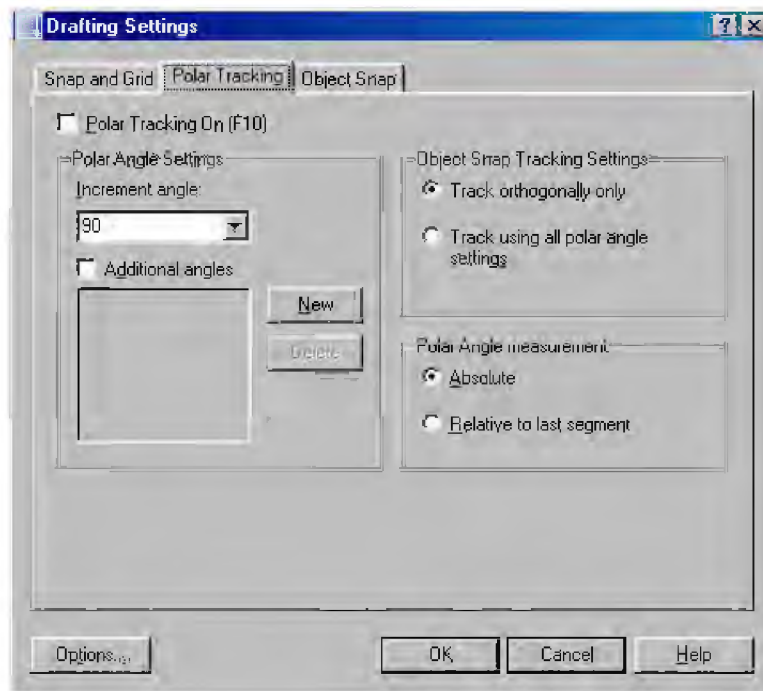


Рис. 5.2 Настройка параметров полярного отслеживания

Вкладка **Object Snap** (рис. 5.3) диалогового окна **Drafting Settings** позволяет настроить параметры режима объектной привязки. Вкладка содержит две кнопки-переключателя и одну панель.

- Флажок **Object Snap On** включает режим постоянной объектной привязки.
- Флажок **Object Snap Tracking On** включает режим постоянной объектной привязки для режима полярной трассировки.
- Панель **Object Snap Modes** содержит перечень характерных точек объектов, которые можно включить в постоянный набор объектных привязок или исключить из набора с помощью установки флажков.

Настройка параметров режимов черчения может быть выполнена также в командной строке с помощью команд **GRID**, **LTSCALE**, **ORTHO**, **SNAP**.

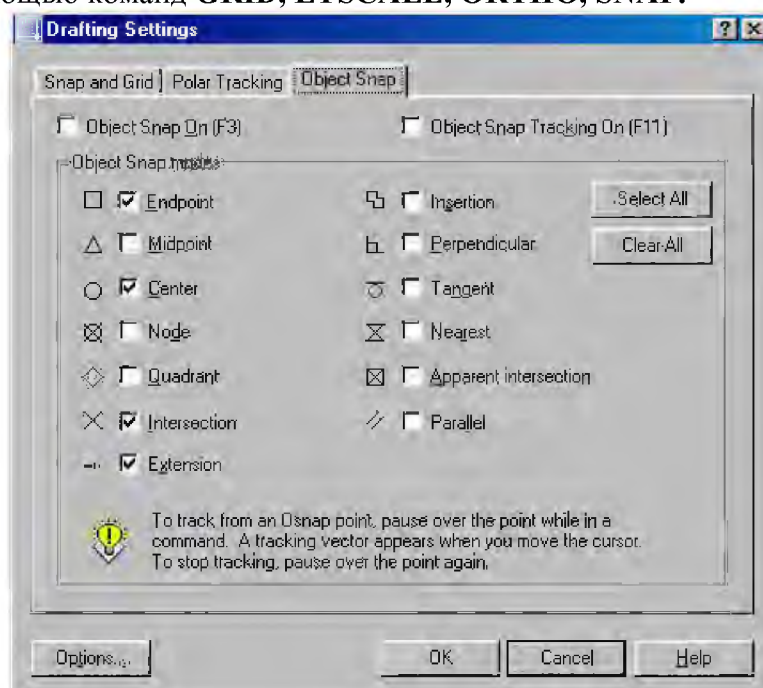


Рис. 5.3 Настройка параметров постоянного режима объектной привязки

## **6. Последовательность выполнения работы**

- 1. Изучите теоретические сведения.**
- 2. Произведите запуск системы AutoCAD и сохраните текущий чертеж под другим именем.**
- 3. Теоретически ознакомьтесь с предварительной настройкой системной среды AutoCAD и ее модификацией.**
- 4. Просмотрите и опробуйте в диалоговом окне Options вкладку Display.**
- 5. Изучите назначение инструментальной панели Object Properties**
- 6. Рассмотрите работу настройки и создания слоев по различным критериям.**
- 7. Ознакомьтесь с индикаторами режима черчения инструментальной панели – *Строка состояния***
- 8. Получите индивидуальное задание от преподавателя и выполните его.**
- 9. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.**

## **7. Контрольные вопросы**

- 1. Как производится сохранение чертежей программы AutoCAD?**
- 2. В каком формате сохраняется файл системы AutoCAD? Какие символы нельзя использовать в имени сохранения файлов?**
- 3. Как произвести установку нового размера перекрестия графического курсора.**
- 4. Как произвести установку цвета и внешнего вида главного рабочего окна AutoCAD?**
- 5. Назовите назначение инструментальной панели –Object Properties.**
- 6. Перечислите назначение операций, выполняемых с помощью диалогового окна Layer Properties Manager.**
- 7. Как можно осуществить загрузку нового типа линии для объектов слоя?**
- 8. Каково назначение - Строки состояния?**
- 9. Какими командами производится включение/выключение режимов черчения?**
- 10. Чем отличаются режимы черчения Ortho и Polar Tracking?**

# Лабораторная работа №3

## Графические примитивы AutoCAD

### 1 Общие положения

**Цель работы:** В лабораторной изложен принцип работы с простыми графическими примитивами системной среды **AutoCAD**, приведено описание командных запросов к каждому примитиву и ключи ответа на них, изложены различные средства ввода координат точек для построения модели рисунка.

### 2 Типы примитивов

Чертежи в **AutoCAD** строятся из набора графических примитивов, под которым подразумевается элемент чертежа, обрабатываемой системой как целое, а не совокупность точек или объектов. Команды вычерчивания или рисования создают графические примитивы и содержатся в падающем меню **DRAW**.

Примитивы могут быть простыми и сложными. К простым примитивам относятся следующие объекты:

- Точка
- Отрезок
- Круг (окружность)
- Дуга
- Прямая
- Луч
- Эллипс
- Сплайн
- Текст

К сложным примитивам относятся: полилиния, мультилиния, мультитекст, размер, выноска, допуск, штриховка, вхождение блока или внешней ссылки, атрибут и растровое изображение. Кроме того, есть пространственные примитивы редкие примитивы. Рассмотрение простых и сложных примитивов будет изложено в данной и последующих лабораторных работах.

#### 2.1 Графический примитив точка

Интересным примитивом системы **AutoCAD** является точка. Для его построения используется команда **POINT** (**ТОЧКА**) (рис. 2.1.1), которая, помимо набора на клавиатуре, может быть вызвана из панели **Draw** или из падающего меню **Draw** — пункт меню **Point, Single Point** (**Одиночная**).



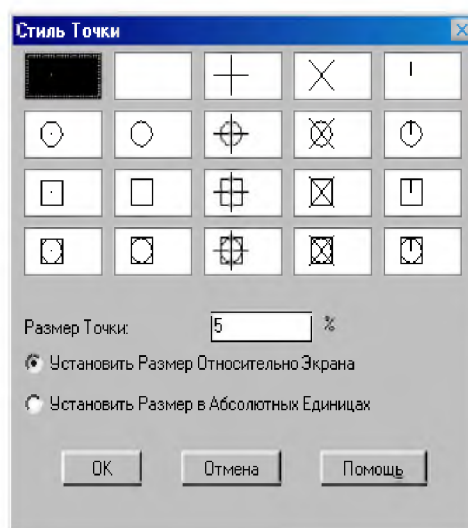
Рис. 2.1.1 Кнопка команды **POINT**

Команда **POINT** при вызове ее из панели инструментов **Draw**, работает в цикле, выдавая вопрос в командной строке, (в дальнейшем приводятся два варианта запроса; верхняя строка – это форма запроса в английской версии, нижняя строка — в русской):

- *Current point modes: PDMODE=0 PDSIZE=0.0000 Specify point:*
- *(Текущие режимы точек: PDMODE=0 PDSIZE=0.0000 Укажите точку:)*

Укажите с помощью мыши точку на экране. В указанном вами месте образуется точка, изображаемая в соответствии с теми установками, которые вам выдала система **AutoCAD** (это значения системных переменных **PDMODE** и **PDSIZE**). Далее **AutoCAD** снова выдает вышеприведенный вопрос об указании точки, и вы можете задать следующую точку и т. д. Когда вам нужно прервать команду **POINT**, то следует воспользоваться клавишей <Esc>.

Если **PDMODE=0** и **PDSIZE=0**, то точка отображается в виде пикселя (т. е. одной точки экрана), что чаще всего неудобно. Поэтому в падающем меню **Format** есть пункт **Point Style**, который вызывает диалоговое окно **Point Style** (рис. 2.2).



**Рис. 2.1.2** Диалоговое окно **Point Style**

Необходимо с помощью левой кнопки мыши отметить ту форму точки, которую вы хотите получить. Рекомендую выбрать форму в виде символа "x". В том же окне можно задать и размеры символа точки, которые могут быть либо в процентах от размера экрана, либо в абсолютных единицах – предпочтительнее сохранить те установки, которые показаны на (рис. 2.2): – 5% от размера экрана. Завершив установки, закройте окно. Система AutoCAD автоматически перерисует ранее заданные точки в новой форме.

## 2.2 Графический примитив отрезок

Для этого введите на клавиатуре команду **LINE** (*ОТРЕЗОК*). Данную команду можно вызвать через командную строку вводом на клавиатуре команды **LINE**, также указателем мыши либо из падающего меню **Draw**, либо из панели инструментов **Draw**, в которой кнопка с нужной командой является первой (рис. 2.2.1).



**Рис. 2.2.1.** Кнопка, соответствующая команде **LINE**

**Первый запрос**, который задает система AutoCAD в командной строке:

- **Specify first point:**
- (*Первая точка:*)

**Возможные ответы:**

- ввести координаты точки начала отрезка прямой линии;
- указать местоположение точки начала линии на экране монитора с помощью графического курсора;

- нажать клавишу **ENTER**, если первой точкой прямой должна быть конечная точка последней проведенной на чертеже линии (отрезка прямой, дуги окружности или полилинии). Если последней проведенной линией была дуга окружности, то отрезок прямой будет проведен касательно к дуге окружности, а для определения его длины система инициирует дополнительный запрос:
  - **Length of line:**
  - Длина отрезка:

#### **Второй запрос системы:**

- **Specify next point or [Undo]:**
- *Задайте следующую точку или ...*

#### **Возможные ответы:**

- ввести координаты конечной точки отрезка прямой линии;
- указать местоположение точки конца линии на экране монитора с помощью графического курсора;
- ввести символ **U**, если необходимо отказаться от последней введенной точки;
- нажать клавишу **ENTER** для окончания работы с командой.

#### **Третий запрос системы:**

- **Specify next point or [Undo]:**
- *Задайте следующую точку или ...*

#### **Возможные ответы:**

- ввести координаты конечной точки отрезка прямой линии;
- указать местоположение точки конца линии на экране монитора с помощью графического курсора;
- ввести символ **U**, если необходимо отказаться от последней введенной точки;
- нажать клавишу **ENTER** для окончания работы с командой.

#### **Последующие запросы системы:**

- **Specify next point or [Close/Undo]:**
- *Задайте следующую точку:*

#### **Возможные ответы:**

- ввести координаты конечной точки следующего отрезка прямой линии;
- указать местоположение точки конца следующей линии на экране монитора с помощью графического курсора;
- ввести символ **U**, если необходимо отказаться от последней введенной точки;
- ввести символ **C**, если необходимо соединить текущую и первую точки ломаной линии (получить замкнутый многоугольник);
- нажать клавишу **ENTER** для окончания работы с командой.

**Замечание** – *AutoCAD* ждет ответа только на тот вопрос, который им задан в командной строке. Если вы хотите перейти к другой команде, отмените действующую, нажав клавишу **<Esc>**.

Есть еще один вариант завершения команды **LINE**. Вместо **<Enter>** можно поместить указатель мыши внутрь графического экрана и нажать *правую кнопку мыши*. При этом на месте, где находился конец указателя, возникает **контекстное меню** (рис. 2.2.2). **Контекстное меню** — это удобный инструмент, помогающий выбрать следующий шаг работы. Оно вызывается при нажатии правой кнопки мыши практически в любой момент времени.

Содержание *контекстного меню* зависит от выполняемой в данный момент команды. В меню на (рис. 2.2.2) приводятся варианты продолжения работы команды **LINE**: **Enter**(Ввод), **Cancel**(Прервать), **Close**(Замкнуть), **Undo**(Отменить), **Pan**(Панорамирование), **Zoom**(Зумирование). Выбор пункта в этом меню осуществляется обычным образом. Пункт меню **Enter** заканчивает команду, пункт **Cancel** прерывает работу команды (в данный момент это равносильно пункту Enter). Действие пунктов **Close** и **Undo** аналогично действию одноименных опций, разобранных выше. Пункты **Pan** и **Zoom** вызывают прозрачные команды (т. е. прерывающие на время действия работающей команды). Эти команды позволяют изменить масштаб, а также размер отображения на экране необходимой зоны рисунка.

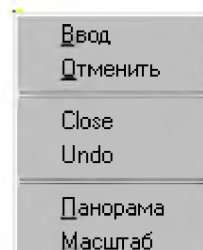


Рис. 2.2.2 Контекстное меню команды **LINE**

***Замечание** – настройка правого щелчка мыши может быть другой от приведенного выше описания. Для изменения свойств мыши работы надо зайти в меню диалоговое окно **Options**, вкладка **User Preferences**, панель **Windows Standard Behavior** и нажать кнопку **Right Click Customization**, которая открывает одноименное диалоговое окно, в котором можно детально настроить режим обработки щелчка правой кнопки мыши.*

## 2.3 Графический примитив Круг

Рисование окружностей (кругов) выполняется командой **CIRCLE** (*КРУГ*). Команду можно выбрать из панели **Draw** (рис. 2.3.1) или из падающего меню **Draw**, в котором пункт **Circle** детализирован шестью подпунктами.



Рис. 2.3.1 Кнопка команды **CIRCLE**

При вызове команды **AutoCAD** выдает запрос:

- **Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]:**
- *Задайте точку центра окружности или ...:*

Возможные ответы на запрос по умолчанию:

- ввести с помощью клавиатуры численные значения координат точки центра окружности;
- указать графическим курсором на экране точку центра окружности.

После установки центра окружности **AutoCAD** выдает запрос:

- **Specify radius of circle or [Diameter]:**
- *Задайте радиус окружности или ...:*

**Возможные ответы:**

- ввести с помощью клавиатуры численное значение величины радиуса окружности;



- динамически указать графическим курсором на экране местоположение точки на будущей окружности, при этом изображение окружности будет «тянуться» вслед за курсором.

Выбор параметра **D** инициирует следующий запрос системы:

- **Specify diameter of circle <31.8483>:**
- *Задайте диаметр окружности <значение по умолчанию>:*

**Возможные ответы:**

- ввести с помощью клавиатуры численное значение величины диаметра окружности;
- динамически указать графическим курсором на экране местоположение точки на будущей окружности.

Иные возможные ответы на первый запрос системы:

- **Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]:**
- *Задайте точку центра окружности или ...*

**Возможные ответы:**

- **T** – используется, если необходимо построить окружность касательную к трем объектам. При этом система выдает следующие дополнительные запросы:
  - **Specify point on object for first tangent of circle:**
  - *Укажите приблизительно на первом объекте точку касания окружностью:*
  - **Specify point on object for second tangent of circle:**
  - *Укажите приблизительно на втором объекте точку касания окружностью:*
  - **Specify radius of circle <8.0395>:**
  - *Задайте радиус окружности:*
- **2P** – используется, если необходимо построить окружность по двум точкам, лежащим на окружности, при этом система выдает следующие дополнительные запросы:
  - **Specify first end point of circle's diameter:**
  - *Задайте первую конечную точку диаметра будущей окружности:*
  - **Specify second end point of circle's diameter:**
  - *Задайте вторую конечную точку диаметра будущей окружности:*
- **3P** – используется, если необходимо построить окружность по трем точкам, лежащим на окружности; при этом система выдает следующие дополнительные запросы:
  - **Specify first point on circle:**
  - *Задайте первую точку будущей окружности:*
  - **Specify second point on circle:**
  - *Задайте вторую точку будущей окружности:*
  - **Specify third point on circle:**
  - *Задайте третью точку будущей окружности:*

## 2.4 Графический примитив Дуга

**Дуга** – это примитив, являющийся частью окружности. Для его построения используется команда **ARC** (*ДУГА*). Команда может быть введена с клавиатуры, вызвана из панели инструментов **Draw** (рис. 2.4.1) или из падающего меню **Draw**, в котором пункт **Arc** детализирован десятью подпунктами (рис. 2.4.1).



Рис. 2.4.1 Кнопка команды ARC



В ответ на команду система выдает первый запрос и дополнительный параметр:

- **Specify start point of arc or [C]Enter**;
- *Задайте начальную точку дуги или ...*

Возможные ответы на запрос по умолчанию:

- ввести с помощью клавиатуры значения координат начальной точки дуги;
- указать графическим курсором на экране местоположение начальной точки дуги.

В ответ на ввод значения координат начальной точки дуги система выдает второй запрос системы:

- **Specify second point of arc or [C]Enter/[E]nd**;
- *Задайте вторую точку дуги или ...*

Возможные ответы на второй запрос системы:

- ввести с помощью клавиатуры значения координат следующей (второй) точки дуги;
- указать графическим курсором на экране местоположение следующей точки дуги.

В ответ на ввод значения координат следующей (второй) точки дуги система выдает третий запрос системы:

- **Specify end point of arc**;
- *Задайте конечную точку дуги :*

Возможные ответы:

- ввести с помощью клавиатуры значения координат последней (третьей) точки дуги;
- указать графическим курсором на экране местоположение последней (третьей) точки дуги.

Система AutoCAD позволяет строить дуги окружности десятью различными способами:

- по трем различным точкам;
- по начальной точке, центру и конечной точке;
- по начальной точке, центру и углу;
- по начальной точке, центру и длине хорды;
- по начальной точке, конечной точке и радиусу;
- по начальной точке, конечной точке и углу;
- по начальной точке, конечной точке и начальному направлению;
- по центру, начальной точке и длине хорды;
- по центру, начальной точке и конечной точке;
- по центру, начальной точке и углу;
- как продолжение отрезка или дуги.

## 2.5 Графические примитивы Эллипс и Эллиптическая дуга

**Эллипс** – это геометрическое место точек, сумма расстояний до которых от двух фиксированных точек (фокусов) постоянна.

Создание эллипсов и эллиптических дуг выполняется с помощью команды **Ellipse** (*Эллипс*), которая, помимо ввода с клавиатуры, может быть вызвана кнопкой **Ellipse** (рис. 2.5.1) из панели **Draw** или пунктом **Ellipse** падающего меню **Draw**.



**Рис. 2.5.1 Кнопка команды ELLIPSE (ЭЛЛИПС)**

В ответ на команду система выдает первый запрос и список дополнительных параметров:

- **Specify axis endpoint of ellipse or [Arc/Center]:**
- *Задайте конечную точку оси эллипса или ...*

Возможные ответы на запрос по умолчанию:

- ввести с помощью клавиатуры численные значения координат первой конечной точки оси эллипса;
- указать графическим курсором на экране монитора конечную точку оси эллипса.

Второй запрос системы:

- **Specify other endpoint of axis:**
- *Задайте другую конечную точку оси эллипса:*

Возможные ответы:

- ввести с помощью клавиатуры численные значения координат второй конечной точки оси эллипса;
- указать графическим курсором на экране монитора другую конечную точку оси эллипса.

Третий запрос системы:

- **Specify distance to other axis or [Rotation]:**
- *Задайте длину другой оси эллипса или ...*

Возможные ответы:

- ввести с помощью клавиатуры численные значения длины второй оси эллипса;
- динамически указать графическим курсором на экране местоположение конечной точки другой оси эллипса, при этом изображение эллипса будет «тянуться» вслед за курсором.

**Выбор параметра R** – инициирует следующий запрос системы:

- **Specify rotation around major axis:**
- *Задайте угол поворота относительно главной оси эллипса:*

Возможные ответы:

- ввести с помощью клавиатуры числовое значение величины угла поворота в пространстве окружности (диаметр окружности равен длине главной оси эллипса), проекция которой на плоскость является искомым эллипсом;
- динамически задать графическим курсором на экране монитора величину угла, при этом изображение эллипса будет «тянуться» вслед за курсором.

Иные возможные ответы на первый запрос системы:

- **Выбор параметра C** – используется, если необходимо построить эллипс по известной точке его центра; при этом система инициирует дополнительные запросы:
  - **Specify center of ellipse:**
  - *Задайте точку центра эллипса:*
  - **Specify endpoint of axis:**
  - *Задайте конечную точку оси эллипса:*
  - **Specify distance to other axis or [Rotation]:**
  - *Задайте длину другой оси эллипса или ...:*

- **Выбор параметра А** – используется, если необходимо вычертить эллиптическую дугу; при этом система инициирует дополнительные запросы:
  - **Specify axis endpoint of elliptical arc or [Center]:**
  - *Задайте конечную точку оси эллиптической дуги или ...*
  - **Specify other endpoint of axis:**
  - *Задайте другую конечную точку оси:*
  - **Specify distance to other axis or [Rotation]:**
  - *Задайте длину другой оси эллипса или ...:*
  - **Specify start angle or [Parameter]:**
  - *Задайте начальный угол или ...:*
  - **Specify end angle or [Parameter/Included angle]:**
  - *Задайте конечный угол или ...: Выбор параметра Р на запрос:*
  - **Specify start angle or [Parameter]:**
  - *Задайте начальный угол или ...:*
- Последний запрос инициирует следующие дополнительные запросы системы:
  - **Specify start parameter or [Angle]:**
  - *Задайте начальный параметр или ...:*
  - **Specify end parameter or [Angle/Included angle]:**
  - *Задайте конечный параметр или ...:*
- Выбор параметра R на запрос:
  - **Specify end angle or [Parameter/Included angle]:**
  - *Задайте конечный угол или ...:*
- инициирует следующий запрос системы:
  - **Specify included angle for arc <180>:**
  - *Задайте центральный угол эллиптической дуги:*

### 3 Способы ввода координат точек

В предыдущем разделе вы задавали конечные точки отрезка с помощью мыши. Но этот способ ввода (указания) точек не является единственным. Больше распространен **второй способ** – ввод координат точки с клавиатуры, например:

**65,113.24**

Данная запись означает, что введена точка с двумя координатами: X=65 мм, Y=113.24 мм. При вводе координат с клавиатуры запятая является разделителем между абсциссой и ординатой, а точка используется как разделитель между целой и дробной частью числа. Вводимые координаты могут быть целыми или вещественными. При вводе координат следует учитывать, где вы выбрали точку с координатами 0,0. Чаще всего это точка левого угла графического экрана (хотя в процессе работы вы перемещаетесь по рисунку, и точка 0,0 может оказаться в любом месте, даже уйти в невидимую часть чертежа).

**Третий способ** ввода точек – это относительный ввод в декартовых координатах с клавиатуры, например:

**@50,25**

Данная запись означает, что новая точка задается относительно предыдущей (что определяет символ "@"), со сдвигом по оси X на +50 мм (т. е. вправо на 50 мм) и сдвигом по оси Y на +25 мм (т. е. вверх на 25 мм). Здесь запятая также является разделителем

координат. Вводимые числа могут быть целыми и вещественными, положительными, нулевыми и отрицательными.

**Четвертый способ** ввода точек – это относительный ввод в полярных координатах с клавиатуры, например:

@33.5<45

В этой форме записи уже нет запятых, зато появился символ "<", который интерпретируется как знак угла. В данном примере новая точка задается относительно предыдущей, причем расстояние между ними в плоскости равно 33,5 мм (т. е. числу влево от символа угла), а вектор из предыдущей точки в новую образует угол 45 градусов с положительным направлением оси абсцисс (угол измеряется в тех угловых единицах, которые вы задали в настройке). Расстояние должно обязательно быть положительным, а угол может быть любым числом.

**Пятый способ** ввода точек – это указание с помощью функций объектной привязки. Доступ к функциям объектной привязки осуществляется либо через групповую кнопку панели **Standard** (*Стандартная*) (рис. 3.1), либо через панель **Object Snap** (*Объектная привязка*) (рис. 3.2). *Групповой* называется кнопка, у которой в правом нижнем углу имеется черный треугольник. Если выбрать указателем мыши такую кнопку и нажать (не отпуская!) левую кнопку мыши, то раскроется набор кнопок инструментов, которые входят в данную группу. Нужно опуститься по появившимся кнопкам до той, которая вам нужна, и только тогда отпустить нажатую левую кнопку мыши.



Рис. 3.1 Групповая кнопка объектной привязки

Однако объектной привязкой лучше пользоваться, имея на экране одноименную панель. В лабораторной №1 рассказано, как вытащить панель инструментов, отсутствующую на экране. Вызовите панель **Object Snap** (*Объектная привязка*). В этой панели собраны следующие кнопки с краткими пояснениями:



Рис. 3.2 Панель **Object Snap** (*Объектная привязка*)

- **Temporary Tracking Point** (*Точка отслеживания*) – использование отслеживания с помощью промежуточной точки;
- **Snap From** (*Смещение*) – смещение от другой (вспомогательной) точки;
- **Snap to Endpoint** (*Конточка*) – конечная точка;
- **Snap to Midpoint** (*Середина*) – средняя точка;
- **Snap to Intersection** (*Пересечение*) – точка пересечения;
- **Snap to Apparent Intersection** (*Кажущееся пересечение*) – точка пересечения продолжения двух объектов;
- **Snap to Extension** (*Продолжение линии*) – точка продолжения;
- **Snap to Center** (*Центр*) – центр дуги или окружности;
- **Snap to Quadrant** (*Квадрант*) – точка квадранта дуги или окружности (это точки, расположенные на 0, 90, 180 и 270 градусов);
- **Snap to Tangent** (*Касательная*) – точка касания;
- **Snap to Perpendicular** (*Нормаль*) – перпендикулярно объекту;

- **Snap to Parallel** (*Параллельно*) – параллельно объекту;
- **Snap to Insert** (*Точка вставки*) – точка вставки текста, блока, внешней ссылки;
- **Snap to Node** (*Узел*) – узловая точка;
- **Snap to Nearest** (*Ближайшая*) – ближайшая к объекту точка;
- **Snap to None** (*Ничего*) – без использования объектной привязки;
- **Object Snap Settings** (*Режимы объектной привязки*) – настройка постоянных режимов привязки.

Еще одна возможность обращения к функциям объектной привязки – это вызов контекстного меню привязки с помощью нажатой клавиши <Shift> и одновременном нажатии на правую кнопку мыши.

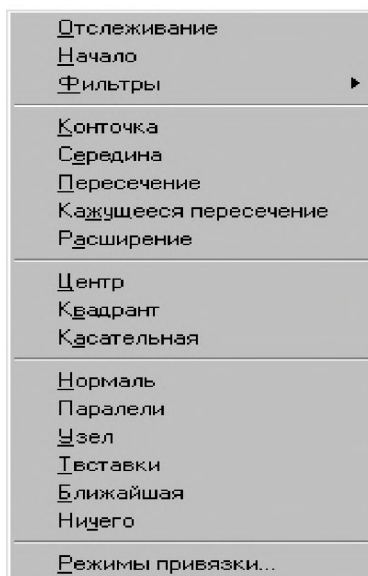


Рис. 3.3 Контекстное меню привязки

#### 4. Последовательность выполнения работы

1. Изучите теоретические сведения графических примитивах AutoCAD.
2. Опробовать действия с изученными командами.
3. Теоретически ознакомьтесь со всеми способами ввода координат точек.
4. Получите индивидуальное задание от преподавателя и выполните его.
5. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

#### 5. Контрольные вопросы

1. Поясните смысл понятия «графический примитив».
2. Поясните назначение диалогового окна Point Style.
3. Поясните назначение запросов команды LINE(*ОТРЕЗОК*).
4. Поясните назначение запросов команды CIRCLE(*КРУГ*).
5. Поясните назначение запросов команды ARC(*ДУГА*).
6. Поясните назначение запросов команды ELLIPS(*ЭЛЛИПС*).
7. Какими способами можно осуществить ввод координат точек?
8. Что называется групповой кнопкой?
9. Назначение панели Object Snap (*Объектная привязка*)?

# Лабораторная работа №4

## Графические примитивы AutoCAD

### 1 Общие положения

**Цель работы:** В лабораторной изложен принцип работы с простыми графическими примитивами системной среды **AutoCAD**, приведено описание командных запросов к каждому примитиву и ключи ответа на них, изложены различные средства применения графических примитивов для построения модели рисунка.

### 2 Графические примитивы

#### 2.1 Графический примитив Полилиния

**Polyline**(*полилиния*) – ломаная линия (рис. 2.1.1), представляет собой последовательность прямолинейных и дуговых сегментов с возможным указанием ширины. Ломанные используются для вычерчивания линий заданной ширины и сужающихся линий, а также кривых и дуг по точкам.



Рис. 2.1.1 Кнопка команды **Polyline**

Для рисования полилинии служит команда **PLINE** (*ПЛИНИЯ*), которая, помимо ввода с клавиатуры, может быть вызвана с помощью кнопки **Polyline** панели инструментов **Draw** или пункта **Polyline** падающего меню **Draw**.

В ответ на команду система выдает запрос:

- **Specify start point:**
- *Задайте начальную точку:*

Возможные ответы:

- ввести с помощью клавиатуры координаты точки начала полилинии;
- указать местоположение точки начала полилинии на экране монитора графическим курсором.

После ввода данных в командной строке появляется сообщение о текущей толщине полилинии, а в следующей строке приводится запрос системы и список параметров команды:

- **Current line-width is 0.0000**
- **Specify next point or [Arc/Halfwidth/Length/Undo/Width]:**
- *Текущая ширина линии равна 0.0000*
- *Задайте следующую точку или ...*

По умолчанию команда использует режим вычерчивания отрезков прямых линий.

Возможные ответы на запрос системы по умолчанию:

- ввести координаты конечной точки отрезка прямой линии;
- указать местоположение точки конца отрезка на экране монитора с помощью графического курсора;

Последующие запросы системы:

- **Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]:**
- *Задайте следующую точку или ...*

Возможные ответы на запрос системы по умолчанию:

- ввести координаты конечной точки отрезка прямой линии любым известным способом;
- нажать клавишу ENTER для завершения работы с командой.

Иные возможные ответы в режиме вычерчивания отрезков прямых линий:

- **W** – используется, если необходимо изменить толщину последующей линии, при этом система инициирует дополнительные запросы:
  - **Specify starting width <0.0000>:**
  - *Задайте начальную толщину полилинии <текущее значение>:*
  - **Specify ending width <0.0000>:**
  - *Задайте конечную толщину полилинии <текущее значение>:*
- **H** – используется, если необходимо изменить половину толщины последующей линии, при этом система инициирует дополнительные запросы:
  - **Specify starting half-width <0.5000>:**
  - *Задайте начальную половину толщины линии <текущее значение>:*
  - **Specify ending half-width <0.5000>:**
  - *Задайте конечную половину толщины линии <текущее значение>:*
- **U** – используется, если необходимо отказаться от последнего вычерченного сегмента полилинии;
- **L** – используется, если необходимо следующую линию вычертить под тем же углом, что и предыдущую (если предыдущая линия — дуга окружности, то линия будет касательная к ней), при этом система инициирует дополнительный запрос:
  - **Specify length of line:**
  - *Задайте длину линии:*
- **C** – используется, если необходимо соединить начальную и текущую точки полилинии отрезком прямой; после вычерчивания этого отрезка система заканчивает работу с командой;
- **A** – используется, если необходимо перевести команду в режим вычерчивания дуг окружностей, при этом список параметров команды изменяется на следующий:
  - **Specify endpoint of arc or**
  - **[Angle/CEnter/CLose/Direction/Halfwidth/Line/Radius/Secondpt/Undo/Width]:**
  - *Задайте конечную точку дуги или ...*

Ответ на запрос системы по умолчанию в режиме вычерчивания дуг окружностей:

- ввести любым известным способом координаты конечной точки дуги окружности.

Метод применяется, если дуга вычерчивается в нужном для пользователя направлении (по умолчанию за направление вычерчивания дуг окружностей принимается направление против часовой стрелки).

Иные возможные ответы в режиме вычерчивания дуг окружностей:

- **A** – используется для построения дуги окружности при известном центральном угле, при этом система инициирует следующие запросы:
  - **Specify included angle:**
  - *Задайте центральный угол:*
  - **Specify endpoint of arc or [CEnter/Radius]:**
  - *Задайте конечную точку дуги или ...*
- **S** – используется для построения дуги окружности по трем точкам или построить дугу в желаемом направлении, при этом система инициирует следующие запросы:

- **Specify second point on arc:**
- *Задайте вторую точку дуги окружности:*
- **Specify end point of arc:**
- *Задайте конечную точку дуги окружности:*
- **R** – используется для построения дуги окружности по известному радиусу, при этом система инициирует следующие запросы:
  - **Specify radius of arc:**
  - *Задайте численное значение радиуса дуги:*
  - **Specify endpoint of arc or [Angle]:**
  - *Задайте конечную точку дуги или ...*
- **L** – используется для перехода к режиму вычерчивания отрезков прямых линий.
- **D** – используется для явного задания направления вычерчивания дуги, при этом система инициирует дополнительные запросы:
  - **Specify the tangent direction for the start point of arc:**
  - *Задайте направление от начальной точки.:*
  - **Specify endpoint of the arc:**
  - *Задайте конечную точку дуги:*
- **CL** – используется для замыкания полилинии дугой окружности и завершения работы команды.
- **CE** – используется для явного задания центра дуги окружности, дополнительные запросы системы:
  - **Specify center point of arc:**
  - *Задайте координаты точки центра дуги окружности:*
  - **Specify endpoint of arc or [Angle/Length]:**
  - *Задайте конечную точку дуги или ...*

**Замечание** – Полилиния обрабатывается системой как единый объект, содержащий линейные и дуговые сегменты. Разрешено многократное переключение между режимом вычерчивания отрезков прямых и режимом вычерчивания дуг окружностей. Каждый режим имеет собственный набор параметров, который повторяется после вычерчивания каждого сегмента. Каждому сегменту полилинии можно задать собственную толщину. Если задать значение толщины полилинии равно нулю, то линия вычерчивается с толщиной равной толщине, установленной для текущего слоя. Допускается вычерчивание сегментов с переменной толщиной (стрелок). Многократное применение параметра *U* приводит к последовательному уничтожению сегментов полилинии и соответствующему переключению режимов работы команды. Действие параметров *W*, *U* и *H* режима вычерчивания дуг окружностей соответствует действию таких же параметров режима вычерчивания отрезков прямых линий. При обводке чертежей рекомендуется использовать метод объектной привязки. Можно изменить направление вычерчивания дуги окружности на обратное, задав отрицательным численное значение определяющего ее центрального угла. При вычерчивании дуги окружности на экране монитора последовательно визуализируются ее промежуточные положения.

## 2.2 Графический примитив Мультилиния

*Мультилиния* — это объект, состоящий из пучка ломаных, параллельных друг другу линий. Количество линий, входящих в мультилинию, составляет от 2 до 16. Мультилиния может обладать дополнительными свойствами: вычерчивание промежуточных стыков, торцов, округлениями и заливкой.



Построение мультилиний выполняется командой **MLINE** (*МЛИНИЯ*). Команда может быть введена с клавиатуры или вызвана с помощью кнопки **Multiline** панели инструментов **Draw** (рис. 2.2.1) или пункта **Multiline** падающего меню **Draw**.



**Рис. 2.2.1** Кнопка команды **MLINE**

При рисовании мультилинии один из стилей является текущим (действующим). В самом стиле описаны эталонные размеры, однако их можно масштабировать. Кроме того, можно управлять расположением мультилинии относительно осевой линии, которую вы задаете, указывая точки. Установки последнего построения мультилинии AutoCAD запоминает и предлагает в следующий раз в качестве значений по умолчанию:

- **Current settings: Justification = Top, Scale = 20.00, Style = STANDARD**
- *Текущие настройки: Расположение = Верх, Масштаб = 20.00, Стиль = STANDARD*

Вслед за этим предлагается выбор:

- **Specify start point or [Justification/Scale/STyle]:**
- *Начальная точка или [Расположение/Масштаб/Стиль]:*

Если указать начальную точку, то выдается запрос на следующую (вторую), затем на следующую за ней и т. д. На третьей точке система **AutoCAD** делает доступной опцию **Undo** (*Отменить*), а на четвертой появляется еще и опция **Close** (*Заккрыть*). Окончанием команды является либо выбор опции **Close** (**C**), либо нажатие клавиши <Enter> или правой кнопки мыши.

До указания первой точки можно задать значения для каждой из опций. Так опция **Justification** (*Расположение*) может принимать значения **Top** (*Верх*), **Bottom** (*Низ*) и **Zero** (*Центр*). Значение опции **Scale** (*Масштаб*), равное 1, соответствует эталонному размеру, описанному в действующем стиле; при задании другого положительного числа размеры будут соответствующим образом масштабироваться. При выборе опции **STyle** (*Стиль*) можно поменять имя текущего стиля (на имя стиля из числа описанных в данном рисунке). В начале рисунка пользователь может рисовать мультилинии только одного стиля (этот стиль называется STANDARD) — из двух параллельных линий.

## 2.3 Графический примитив Линия конструкции

**Construction Line** (*линия конструкции*) – бесконечной линия (рис. 2.3.1), служит для вычерчивания прямой бесконечной линии; применяется в двухмерном и трехмерном черчении при выполнении вспомогательных построений, которые используются как база при вычерчивании контурных линий.



**Рис. 2.3.1** Кнопка команды **Construction Line**

Для рисования **Construction Line** (*линия конструкции*) служит команда **XLINE** (**XL**), которая, помимо ввода с клавиатуры, может быть вызвана с помощью кнопки **Construction Line** панели инструментов **Draw** или пункта **Construction Line** падающего меню **Draw**.

В ответ на команду система выдает первый запрос и список дополнительных параметров:

- **Specify a point or [Hor/Ver/Ang/Bisect/Offset]:**

- *Задайте первую точку или ...:*

Возможные ответы:

- ввести с помощью клавиатуры координаты первой из двух точек, определяющих линию;
- указать местоположение первой точки на экране монитора графическим курсором.

Последующие запросы системы:

- **Specify through point:**

- *Задайте точку, через которую пройдет линия:*

Возможные ответы:

- ввести координаты второй точки, через которую пройдет линия;
- указать местоположение второй точки, определяющей направление линии, с помощью графического курсора.

Последующие запросы системы:

- **Specify through point:**

- *Задайте точку, через которую пройдет линия:*

Возможные ответы:

- любым известным способом ввести координаты точки, через которую пройдет следующая линия семейства линий, имеющих общую первую точку;
- нажать клавишу ENTER для завершения работы с командой.

Иные возможные ответы на первый запрос системы:

- **H** – используется, если необходимо построить горизонтальную вспомогательную линию, при этом система задает дополнительный запрос:
  - **Specify through point:**
  - *Задайте точку, через которую пройдет линия:*
- **V** – используется, если необходимо построить вертикальную вспомогательную линию, при этом система задает дополнительный запрос:
  - **Specify through point:**
  - *Задайте точку, через которую пройдет линия:*
- **A** – используется, если необходимо построить вспомогательную линию под определенным углом к оси X, при этом система задает дополнительные запросы:
  - **Enter angle of xline (0) or fReference:**
  - *Задайте угол наклона или ...:*
  - **Specify through point:**
  - *Задайте точку, через которую пройдет линия:*

Следующий запрос системы, позволяет построить очередную вспомогательную линию, параллельную предыдущей; если в ответ на запрос нажать клавишу **ENTER**, то это действие приведет к завершению работы с командой:

- **Specify through point:**

- *Задайте точку, через которую пройдет линия:*

- **R** – используется, если необходимо построить вспомогательную линию под определенным углом к любой указанной прямой.
- **B** – используется, если необходимо построить вспомогательную линию, делящую заданный угол пополам (биссектрису угла), при этом система инициирует дополнительные запросы:
  - **Specify angle vertex point:**

- *Задайте вершину угла:*
- **Specify angle start point:**
- *Задайте точку на первой стороне угла:*
- **Specify angle end point:**
- *Задайте точку на второй стороне угла:*

Следующий запрос системы позволяет построить биссектрису угла, образованного стороной, указанной первой и проведенной вспомогательной линией; если в ответ на запрос нажать клавишу ENTER, то это действие приведет к завершению работы с командой:

- **Specify angle end point:**
- *Задайте точку на второй стороне угла:*
- **O** – используется, если необходимо построить на определенном расстоянии от указанного прямолинейного сегмента чертежа параллельную ему вспомогательную линию; при этом система инициирует дополнительные запросы и если в ответ на первый запрос нажать клавишу **ENTER**, то это действие приведет к завершению работы с командой:
  - **Specify offset distance or [Through] <1.0000>:**
  - *Задайте расстояние или ... <значение по умолчанию>:*
  - **Select a line object:**
  - *Укажите прямолинейный сегмент чертежа:*
  - **Specify side to offset:**
  - *Задайте сторону смещения:*

Следующие запросы системы:

- **Select a line object:**
- *Укажите прямолинейный сегмент чертежа:*
- **Specify side to offset:**
- *Задайте сторону смещения:*
- **T** – используется, если необходимо построить вспомогательную линию, параллельную выбранному объекту и проходящую через заданную точку.

## 2.4 Графический примитив Сплайн

Команда **SPLINE** (*СПЛАЙН*) позволяет чертить *сплайн* — гладкую линию, которая проходит через заданные точки и может удовлетворять условиям касания в начальной, конечной или обеих точках. Команда, помимо ввода с клавиатуры, может быть вызвана с помощью кнопки **Spline** (рис. 2.4.1) панели **Draw** или пункта **Spline** падающего меню **Draw**.



Рис. 2.4.1 Кнопка команды **Spline**

В ответ на команду система выдает первый запрос и дополнительный параметр:

- **Specify first point or [Object]:**
- *Задайте первую точку или ...:*

Возможные ответы:

- ввести с помощью клавиатуры координаты точки начала линии;
- указать местоположение точки начала линии на экране монитора графическим курсором.

Второй запрос системы:

- **Specify next point:**
- *Задайте следующую точку:*

Возможные ответы:

- ввести координаты второй точки линии;
- указать местоположение второй точки линии на экране монитора с помощью графического курсора.

Последующие запросы системы:

- **Specify next point or [Close/Fit tolerance] <start tangent>:**
- *Задайте следующую точку или ... <определите касательную к сплайну>:*

Возможные ответы:

- ввести координаты следующей точки линии;
- указать местоположение следующей точки линии на экране монитора с помощью графического курсора;
- нажать клавишу ENTER для завершения ввода точек,

Далее система инициирует дополнительные запросы:

- **Specify start tangent:**
- *Задайте направление касательной в начальной точке линии:*

Возможные ответы:

- Для выбора принятого по умолчанию направления касательной нажмите клавишу ENTER.
- Перемещая точку, определяющую направление касательной, задайте форму кривой.

- **Specify end tangent:**
- *Задайте направление касательной в конечной точке линии:*

Возможные ответы:

- Для выбора принятого по умолчанию направления касательной нажмите ENTER.
- Перемещая точку, определяющую направление касательной, задайте форму кривой.

Иные возможные ответы на запрос системы:

- **Specify next point or [Close/Fit tolerance] <start tangent>:**
- *Задайте следующую точку или ... <определите касательную к сплайну>:*

- **C** – используется, если необходимо соединить гладкой линией последнюю и первую точки сплайна, при этом система инициирует дополнительный запрос:

- **Specify tangent:**
- *Задайте направление касательной:*

Возможные ответы:

- После этого следует указать направление касательной, общей для совпавших первой и последней точек.
- Для выбора принятого по умолчанию направления касательной нажмите клавишу **ENTER**.
- Перемещая точку, определяющую направление касательной, задайте форму кривой.
- **F** – используется, если необходимо задать, насколько близко к введенным точкам должен проходить сплайн. Величина допуска сглаживания выражается

в единицах измерения текущего чертежа. По умолчанию принято значение допуска 0, при котором сплайн точно проходит по точкам данных.

- **U** – используется, если необходимо отказаться от последнего вычерченного сегмента линии.

## 2.5 Графические примитивы полоса и фигура

### 2.5.1 Команда TRACE (ПОЛОСА)

Команда **TRACE** (*ПОЛОСА*) вводится только с клавиатуры и предназначена для построения *полос* — ломаной линии с постоянной шириной. Первый запрос команды:

- **(Specify trace width <1.0000>:)**
- *Ширина полосы <1.0000>:*

Возможные ответы:

- Задайте ширину вводом числа с клавиатуры или указанием двух точек.

Следующий запрос:

**Начальная точка**  
(*Specify start point:*)

**Следующая точка:**  
(*Specify next point:*)

Возможные ответы:

- Укажите начальную точку осевой линии полосы.
- Задайте в цикле очередные точки и завершите построение нажатием клавиши <Enter>. Сегменты полос не образуют единого объекта.

### 2.5.2 Команда SOLID (ФИГУРА)

Следующая команда — **SOLID** (*ФИГУРА*) — строит последовательно расположенные четырехугольники или треугольники. Вершины четырехугольника задаются точками:

- **(Specify first point:)**
- *Первая точка:*
- **(Specify second point:)**
- *Вторая точка:*
- **(Specify third point:)**
- *Третья точка:*
- **(Specify fourth point or <exit>:)**
- *Четвертая точка или <выход>:*

**Замечание** – В качестве третьей точки четырехугольника нужно указать точку, расположенную по диагонали напротив второй (иначе фигура получится перекрученной). Далее следует запрос о четвертой точке. Если вместо ввода четвертой точки нажать на клавишу <Enter>, то строится треугольная фигура. Затем снова повторяется запрос третьей точки, поскольку первой и второй точкой очередного четырехугольника становятся первая и вторая точки предыдущего. В тот момент времени, когда вы вместо ввода третьей точки нажмете на клавишу <Enter>, выполнение команды закончится. Фигуры, построенные с помощью одной команды **ФИГУРА** (**SOLID**), не образуют единого объекта.

### 3 Команды получения справочной информации о создаваемых объектах

В процессе работы очень полезными оказываются команды получения справочной информации о создаваемых объектах. На рис. 3.1 показана, групповая кнопка справочных операций:

- **Distance** (*Расстояние*)
- **Area** (*Площадь*)
- **Mass Properties** (*Масса*)
- **List** (*Список*)
- **Locate Point** (*Координаты*)

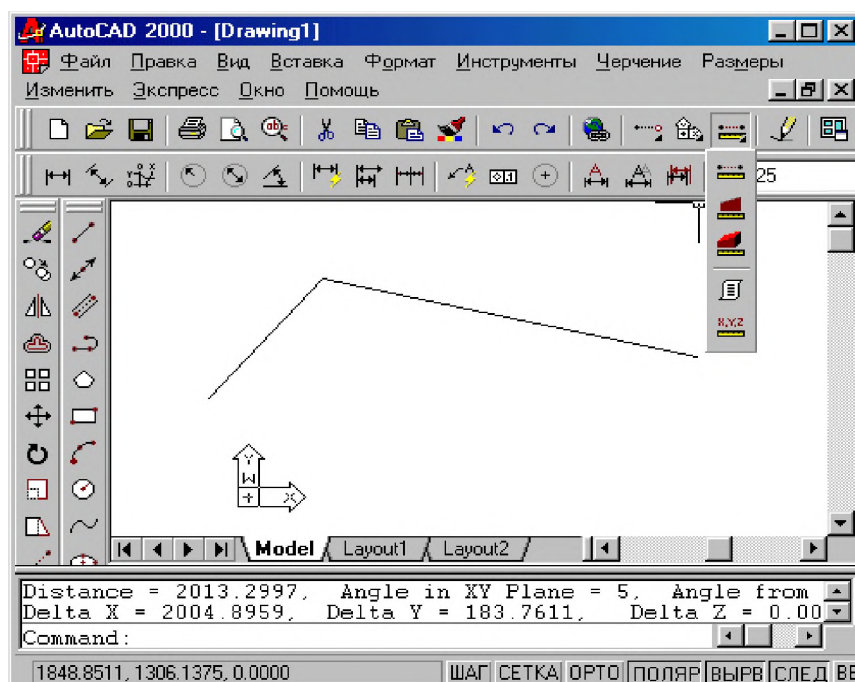


Рис. 3.1 Групповая кнопка команд справоч

К этим командам можно также обратиться с помощью падающего меню **Tools** (*Сервис*), пункт **Inquiry** (*Сведения*). При вводе с клавиатуры эти команды имеют следующие наименования:

- **DIST** (*ДИСТ*)
- **AREA** (*ПЛОЩАДЬ*)
- **MASSPROP** (*МАСС-ХАР*)
- **LIST** (*СПИСОК*) **ID** (*КООРД*)

Практически все эти команды запрашивают объекты (например, команда **DIST** — две точки) и выводят свои результаты в текстовое окно.



Рис. 6.2 Кнопка команды LIST

Особое место среди справочных команд занимает команда **LIST** (рис. 6.2), которая не только выдает координаты и другие данные, использованные при построении объектов, но и часто такую информацию, как площадь, периметр, цвет, уровень, угол наклона и др. Поэтому эта команда является мощным средством контроля правильности введенных данных.

#### **4. Последовательность выполнения работы**

- 1. Изучите теоретические сведения графических примитивах AutoCAD.**
- 2. Опробовать действия с изученными командами.**
- 3. Теоретически ознакомьтесь со всеми командами получения справочной информации о создаваемых объектах.**
- 4. Получите индивидуальное задание от преподавателя и выполните его.**
- 5. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.**

#### **5. Контрольные вопросы**

- 1. Поясните назначение запросов команды **PLINE** (*Полилиния*)**
- 2. Поясните назначение запросов команды **MLINE** (*Мультилиния*)**
- 3. Поясните назначение запросов команды **XLINE** (*Линия конструкции*)**
- 4. Поясните назначение запросов команды **SPLINE** (*Сплайн*)**
- 5. Поясните назначение запросов команды **TRACE** (*Полоса*)**
- 6. Поясните назначение запросов команды **SOLID** (*Фигура*)**
- 7. Какими способами можно осуществить получение справочной информации о создаваемых объектах?**

# Лабораторная работа №5

## Графические примитивы AutoCAD

### 1 Общие положения

**Цель работы:** В лабораторной изложен принцип работы с простыми графическими примитивами системной среды **AutoCAD**, приведено описание командных запросов к каждому примитиву и ключи ответа на них, изложены различные средства применения графических примитивов для нанесения однострочных и многострочных текстов на чертежах.

### 2 Графические примитивы

#### 2.1 Графический примитив Луч

Команда **RAY** (*Луч*) – служит для вычерчивания луча; применяется в двухмерном и трехмерном черчении при выполнении вспомогательных построений, которые используются как база при вычерчивании контурных линий. Создание луча выполняется с помощью команды **RAY** (*Луч*), помимо ввода с клавиатуры или пунктом **RAY** падающего меню **Draw**.

В ответ на команду система выдает первый запрос:

- **Specify start point:**
- *Задайте начальную точку:*

Возможные ответы:

- ввести координаты точки начала луча;
- указать местоположение точки начала луча на экране монитора с помощью графического курсора.

Последующие запросы системы:

- **Specify through point:**
- *Задайте точку, через которую пройдет луч:*

Возможные ответы:

- ввести координаты точки, через которую пройдет луч;
- указать местоположение точки, определяющей направление луча, с помощью графического курсора.

- **Specify through point:**
- *Задайте точку, через которую пройдет луч:*

Возможные ответы:

- любым известным способом ввести координаты точки, через которую пройдет следующий луч;
- нажать клавишу ENTER для завершения работы с командой.

**Замечание** – при выполнении команды **ZOOM** с параметром **Extents** система игнорирует бесконечную длину луча, в результате чего в графическом окне отображаются только действительные объекты, имеющиеся на чертеже. Толщина линии не задается и соответствует толщине, установленной для текущего слоя.



## 2.2 Графический примитив Многоугольник

**Команда Polygon**(Многоугольник) – используется для вычерчивания многоугольников с числом сторон от 3 до 1024. В системе AutoCAD есть несколько команд рисования прямоугольников, правильных многоугольников и колец, которые на самом деле являются полилиниями.

Создание **многоугольников** выполняется с помощью команды **Polygon**(Многоугольник), которая, помимо ввода с клавиатуры, может быть вызвана кнопкой **Polygon** (рис. 2.5.1) из панели **Draw** или пунктом **Polygon** падающего меню **Draw**.



Рис. 2.2.1 Кнопка команды Polygon

Первый запрос системы в ответ на команду:

- **Enter number of sides <4>:**
- *Введите число сторон <значение по умолчанию>:*

Возможные ответы:

вести с помощью клавиатуры число сторон будущего многоугольника.

Следующие запросы системы:

- **Specify center of polygon or [Edge]:**
- *Задайте центр многоугольника или ...:*
  - Возможные ответы на запрос по умолчанию:
    - ввести с помощью клавиатуры координаты точки центра многоугольника;
    - указать графическим курсором центр многоугольника.
- **Enter an option [Inscribed in circle/Circumscribed about circle] <I>:**
- *Введите параметр [I/C] <параметр по умолчанию>:*
  - Возможные ответы:
    - I – определяет способ построения многоугольника как вписанного в некоторую окружность.
    - C – определяет способ построения многоугольника как описанного вокруг некоторой окружности.
- **Specify radius of circle:**
- *Задайте радиус окружности:*
  - Возможные ответы:
    - ввести с помощью клавиатуры численное значение радиуса окружности;
    - задать радиус окружности, определяющей многоугольник, с помощью графического курсора.

Возможные ответы на второй запрос системы:

**Specify center of polygon or [Edge]:**

*Задайте центр многоугольника или ...:*

Возможные ответы:

E – определяет способ построения многоугольника по положению одной из его сторон.

**Specify first endpoint of edge:**

*Задайте первую точку стороны многоугольника:*

Возможные ответы:

- ввести с помощью клавиатуры координаты точки одного из концов стороны многоугольника;
- указать графическим курсором первый конец стороны многоугольника.

**Specify second endpoint of edge:**

*Задайте вторую точку стороны многоугольника:*

Возможные ответы:

- ввести с помощью клавиатуры координаты второй конечной точки стороны многоугольника;
- указать графическим курсором второй конец стороны многоугольника.

**Замечание** – Если радиус круга задается путем ввода его числового значения, то ориентация нижней стороны многоугольника совпадает с ориентацией сетки для перемещения графического курсора с фиксированным шагом (обычно  $0^\circ$ ). Если для определения радиуса круга используется устройство указания, то для вписанного многоугольника с заданной точкой совпадает одна из его вершин, а для описанного — середина одной из сторон. Толщина линии многоугольника не задается и соответствует толщине, установленной для текущего слоя.

## 2.3 Графический примитив Прямоугольник

Команда **Rectangle** (*Прямоугольник*) – используется для вычерчивания прямоугольников. Вычерчивание *прямоугольников* осуществляет команда **RECTANG** (*ПРЯМОУГ*). Команда может быть введена с клавиатуры или вызвана с помощью кнопки **Rectang** панели **Draw** (рис. 2.3.1), или пункта **Rectangle** падающего меню **Draw**.



**Рис. 2.3.1** Кнопка команды **Rectangle**

В ответ на команду система выдает запрос и список дополнительных параметров:

**Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]:**

*Задайте точку угла прямоугольника или ...:*

Возможные ответы:

- ввести с помощью клавиатуры координаты первой из двух диагональных точек, определяющих прямоугольник;
- указать местоположение первого угла прямоугольника на экране монитора графическим курсором.

**Specify other corner point:**

*Задайте точку другого угла прямоугольника:*

Возможные ответы:

- ввести с помощью клавиатуры координаты точки другого диагонального угла прямоугольника;
- указать графическим курсором другую вершину прямоугольника.

Иные возможные ответы на первый запрос системы:

**Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]:**

*Задайте точку угла прямоугольника или ...:*

Возможные ответы:

- **C** – используется, если необходимо вычертить прямоугольник с заранее определенными фасками; при этом система инициирует дополнительные запросы:

**Specify first chamfer distance for rectangles <0.0000>:**

*Задайте первую длину фаски <значение по умолчанию>:*

**Specify second chamfer distance for rectangles <5.0000>:**

*Задайте вторую длину фаски <значение по умолчанию>:*

**Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/ Thickness/Width]:**

*Задайте точку угла прямоугольника или ...:*

**Specify other corner point:**

*Задайте точку другого угла прямоугольника*

**F** – используется, если необходимо вычертить прямоугольник с заранее определенным радиусом сопряжения его углов; при этом система иницирует дополнительные запросы:

**Specify fillet radius for rectangles <5.0000>:**

*Задайте радиус сопряжения <значение по умолчанию>:*

**Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/ Thickness/Width]:**

*Задайте точку угла прямоугольника или ...:*

**Specify other corner point:**

*Задайте точку другого угла прямоугольника*

**W** – используется, если необходимо вычертить прямоугольник с заранее определенной толщиной линии; при этом система иницирует дополнительные запросы:

**Specify line width for rectangles <1.0000>:**

*Задайте толщину линии <значение по умолчанию>:*

**Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/ Thickness/Width]:**

*Задайте точку угла прямоугольника или ...:*

**Specify other corner point:**

*Задайте точку другого угла прямоугольника:*

**Замечание** – Команда **RECTANG** формирует полилинию, поэтому прямоугольник можно рассматривать как единый объект. Если задать значение толщины линии равно нулю, то линия вычерчивается с толщиной равной толщине, установленной для текущего слоя.

## 2.4 Графический примитив Кольцо

Команда **Donut** (*Кольцо*) – используется для вычерчивания кольца и представляется полилинией с шириной, подобранной по внутреннему и внешнему диаметрам кольца. Команда может быть введена с клавиатуры или вызвана с помощью пункта **Donut** падающего меню **Draw**.

Первый запрос:

**Specify inside diameter of donut <10.0000>:**

*Внутренний диаметр кольца < значение по умолчанию >:*

Возможные ответы:

ввести с помощью клавиатуры числовое значение диаметра, определяющих внутренний диаметр кольца;

указать курсором мыши местоположение двух точек, расстояние между которыми становится величиной диаметра.

**Specify outside diameter of donut <20.0000>:**

*Внешний диаметр кольца < значение по умолчанию >:*

Возможные ответы:

вести с помощью клавиатуры числовое значение диаметра, определяющих внешний диаметр кольца.

**Specify center of donut or <exif>:**

*Центр кольца или <выход>:*

Возможные ответы:

указать курсором мыши местоположение центра кольца.

После указания очередного центра кольца система **AutoCAD** рисует очередной экземпляр требуемой фигуры. Закончить команду можно с помощью клавиши <Enter> или правой кнопкой мыши.

### 3 Графический примитив Текст

Надписи могут быть созданы с помощью команды **TEXT** (*ТЕКСТ*) или **MTEXT** (*МТЕКСТ*). В первом случае создается примитив текст, во втором — мультитекст.

Команда **Text** (*Текст*) — используется для нанесения однострочных текстов на чертежах. Команда может быть введена с клавиатуры **TEXT (DT)** или вызвана вызвана с помощью кнопки **Text** панели **Draw** (рис. 3.1) или из падающего меню **Draw**, где в пункте **Text** есть подпункт **Single Line Text** (*Однострочный*).



Рис. 3.1 Кнопка команды Text

В ответ на команду система выдает в первой строке сообщение, затем запрос и список дополнительных параметров:

**Current text style: «Standard» Text height: 10.0000**

*Текущий текстовый стиль: «Standard», высота текста: 10.0000*

**Specify start point of text or [Justify/Style]:**

*Задайте начальную точку текста или ...:*

Возможные ответы на запрос по умолчанию:

вести с помощью клавиатуры координаты точки начала текста;

указать графическим курсором на экране монитора точку начала текста.

Далее система инициирует следующую последовательность запросов:

**Specify height <2.5000>:**

*Задайте высоту < значение по умолчанию >:*

Возможные ответы:

введите численное значение высоты заглавной буквы текста;

нажмите клавишу ENTER, чтобы использовать размер шрифта по умолчанию.

**Specify rotation angle of text <0>:**

*Задайте угол поворота строки текста < значение по умолчанию >:*

Возможные ответы:

введите (в градусах) желаемый угол поворота строки текста;

нажмите клавишу ENTER, чтобы использовать угол наклона строки по умолчанию.

**Enter text:**

*Введите текст:*

Возможные ответы:

введите необходимую последовательность символов и нажмите клавишу ENTER.

**Enter text:**

*Введите текст:*

Возможные ответы:

введите необходимую последовательность символов и нажмите клавишу **ENTER;**

нажмите клавишу ENTER для завершения работы с командой.

Для использования других параметров команду следует повторить и ввести необходимые изменения и после ответа на дополнительный запрос система восстанавливает в командной строке сообщение, содержащее перечень параметров:

**S** – используется, если необходимо поменять текстовый стиль, при этом система инициирует дополнительный запрос:

**Enter style name or [?] <Standard>**

*Введите имя текстового стиля или ... <параметр по умолчанию>:*

Возможные ответы:

нажать клавишу **ENTER**, чтобы оставить имя текстового стиля по умолчанию;

ввести имя желаемого текстового стиля, созданного при помощи команды **STYLE;**

ввести символ **?**, чтобы прочитать список существующих стилей.

**J** – используется, если необходимо поменять способ выравнивания строки текста, при этом система выдает список уточняющих дополнительных параметров:

**Enter an option [Align/Fit/Center/Middle/Right/TL/TC/TR/ML/MC/MR/BL/BC/BR]:**

*Введите уточняющий параметр...:*

Возможные ответы:

**A** – используется, если необходимо разместить текст между двумя заданными точками; дополнительные запросы системы:

**Specify first endpoint of text baseline:**

*Задайте точку начала строки текста:*

**Specify second endpoint of text baseline:**

*Задайте точку конца строки текста:*

**Enter text:**

*Введите текст:*

Возможные ответы:

введите любым известным способом координаты точек;

затем вводите текст (высота и ширина символов определяется системой таким образом, чтобы весь текст разместился между указанными точками).

**C** – используется, если необходимо отцентрировать текстовую строку относительно указанной точки; дополнительные запросы системы:

**Specify center point of text:**

*Задайте центральную точку текста:*

**Specify height <10.0000>:**

*Задайте высоту <значение по умолчанию>:*

**Specify rotation angle of text <0>:**

*Задайте угол поворота строки текста <значение по умолчанию>:*

**Enter text:**

*Введите текст:*

Возможные ответы:

введите координаты центральной точки; последующий диалог аналогичен описанному в ответах на запрос системы по умолчанию.

**F** – используется, если необходимо разместить текст фиксированной высоты между двумя заданными точками; дополнительные запросы системы:

**Specify first endpoint of text baseline:**

*Задайте точку начала строки текста:*

**Specify second endpoint of text baseline:**

*Задайте точку конца строки текста:*

**Specify height <10.0000>:**

*Задайте высоту < значение по умолчанию >:*

**Enter text:**

*Введите текст:*

Возможные ответы:

введите требуемые значения — и система разместит текст заданной высоты в указанном промежутке, изменив только ширину символов.

**M** – используется, если необходимо отцентрировать текст по горизонтали и вертикали; дополнительные запросы системы:

**Specify middle point of text:**

*Задайте среднюю точку текста:*

Возможные ответы:

введите координаты средней точки (точка выравнивания находится посередине между рабочей линией и верхушкой самой высокой буквы); последующий диалог аналогичен описанному в ответах на запрос системы по умолчанию.

**R** – используется, если необходимо выровнять текст справа по указанной точке; дополнительные запросы системы:

**Specify right endpoint of text baseline:**

*Задайте конечную точку текста справа:*

Возможные ответы:

введите точку; последующий диалог аналогичен описанному в ответах на запрос системы по умолчанию.

**TL, TC, TR** – используются, если необходимо выровнять текст вверх влево, вверх по центру, вверх вправо по указанной точке; соответствующие дополнительные запросы системы:

**Specify top-left point of text:**

*Задайте точку для выравнивания текста вверх влево:*

**Specify top-center point of text:**

*Задайте точку для выравнивания текста вверх по центру:*

**Specify top-right point of text:**

*Задайте точку для выравнивания текста вверх вправо:*

Возможные ответы:

введите требуемую точку; последующий диалог аналогичен описанному в ответах на запрос системы по умолчанию.

**ML, MC, MR** – используются, если необходимо выровнять текст посередине влево, посередине по вертикали и горизонтали, посередине вправо по указанной точке; соответствующие дополнительные запросы системы:

**Specify middleleft point of text:**

*Задайте точку для выравнивания текста посередине влево:*

**Specify middle point of text:**

*Задайте среднюю точку текста:*

**Specify middleright point of text:**

*Задайте точку для выравнивания текста посередине вправо:*

Возможные ответы:

введите требуемую точку; последующий диалог аналогичен описанному в ответах на запрос системы по умолчанию.

**BL, BC, BR** – используются, если необходимо выровнять текст вниз влево, вниз по центру, вниз вправо по указанной точке; соответствующие дополнительные запросы системы:

**Specify bottomleft point of text:**

*Задайте точку для выравнивания текста вниз влево:*

**Specify bottomcenter point of text:**

*Задайте точку для выравнивания текста вниз по центру:*

**Specify bottomright point of text:**

*Задайте точку для выравнивания текста вниз вправо:*

Возможные ответы:

введите требуемую точку; последующий диалог аналогичен описанному в ответах на запрос системы по умолчанию.

Если в текст нужно вставить специальные знаки (например, диаметр) или получить подчеркнутые или надчеркнутые символы, то можно использовать следующие управляющие коды, начинающиеся с двух символов процента:

%%nnp — вставка символа с номером nnp (например, %%048 — это символ с номером 048, т. е. "0");

%%o — включение/отключение надчеркивания;

%%u — включение/отключение подчеркивания;

%%d — вставка символа градуса "°";

%%p — вставка символа плюс-минус "±";

%%c — вставка символа диаметра;

%%% — вставка символа процента "%".

Режимы надчеркивания и подчеркивания могут действовать одновременно. Оба режима по достижении конца строки автоматически отключаются

Команда **Multiline Text** (*Многострочный Текст*) – используется для нанесения многострочных текстов на чертежах. Команда может быть введена с клавиатуры **MTEXT** (**MT**) или вызвана вызвана с помощью кнопки **MText** панели **Draw** (рис. 3.2) или из падающего меню **Draw**, где в пункте **Text** есть подпункт **Multiline Text** (*Многострочный Текст*).



**Рис. 3.2 Кнопка команды Multiline Text**

В ответ на команду система выдает в первой строке сообщение, а затем запрос:

**Current text style:** «Standard» **Text height:** 10

*Текущий текстовый стиль:* «Standard», *высота текста:* 10

**Specify first corner:**

*Задайте первый угол:*

Возможные ответы:

ввести с помощью клавиатуры координаты первой точки рамки текстового окна;  
указать графическим курсором на экране монитора первый угол рамки текстового окна.

Далее система инициирует второй запрос и список дополнительных параметров для предварительной настройки свойств текста:

**Specify opposite corner or [Height/Justify/Line spacing/Rotation/Style/ Width]:**

*Задайте противоположный угол или ...:*

Возможные ответы на второй запрос системы по умолчанию:

ввести с помощью клавиатуры координаты диагональной точки рамки текстового окна;

указать графическим курсором на экране монитора противоположный первому угол текстового окна.

Иные возможные ответы на второй запрос системы:

**H** – используется, если необходимо изменить высоту символов многострочного текста; при этом система инициирует дополнительный запрос:

**Specify height <10>:**

*Задайте высоту <значение по умолчанию>:*

aa

**J** – используется, если необходимо изменить способ выравнивания многострочного текста (способы выравнивания текста смотри в описании команды **TEXT**), при этом система инициирует дополнительный запрос:

**Enter justification [TL/TC/TR/ML/MC/MR/BL/BC/BR] <TL>:**

*Задайте способ выравнивания <параметр по умолчанию>:*

**R** – используется, если необходимо изменить угол поворота рамки текстового окна; при этом система инициирует дополнительный запрос:

**Specify rotation angle <0>:**

*Задайте угол поворота <значение по умолчанию>:*

**L** – используется, если необходимо изменить расстояние между строками в текстовом окне; при этом система инициирует дополнительные запросы:

**Enter line spacing type [At least/Exactly] <At least>:**

*Выберите способ задания расстояния:*

Возможные ответы:

**A** – в зависимости от высоты наибольшего символа;

**E** – независимо от высоты символов.

**Enter line spacing factor or distance <1x>:**

*Введите межстрочный коэффициент или расстояние <значение по умолчанию>:*

**S** – используется, если необходимо изменить текстовый стиль, при этом система инициирует дополнительный запрос:

**Enter style name or [?] <Standard>:**

*Введите имя текстового стиля или ? для просмотра списка существующих стилей:*

**W** – используется, если необходимо задать ширину рамки текстового окна; при этом система инициирует дополнительный запрос:

**Specify width:**



*Задайте ширину:*

После определения свойств текста система открывает диалоговое окно Multiline Text Editor (рис. 3.3), в котором можно вводить и редактировать текст, а также изменять его свойства. Разрешено изменять свойства только выделенной части текста. Можно, дважды щелкнув мышью, выделить для редактирования отдельное слово или выделить весь абзац, щелкнув мышью трижды.



*Рис. 3.3 Ввод и редактирование свойств многострочного текста*

Диалоговое окно **Multiline Text Editor** содержит четыре вкладки и кнопку **Import Text**.

Вкладка **Character** содержит следующие средства форматирования символов текста:

- Font** — раскрывающийся список выбора шрифтов;
- Font Height** — раскрывающийся список ввода высоты шрифта;
- Bold** — кнопка установки полужирного начертания символа;
- Italic** — кнопка установки начертания символа курсивом;
- Underline** — кнопка установки начертания символа с подчеркиванием;
- Undo** — кнопка отмены;
- Stack/Unstack** — кнопка установки начертания дробей в одну или две строки;
- Text Color** — раскрывающийся список выбора цвета символа;
- Symbol** — раскрывающийся список для вставки специальных символов.

Вкладка **Properties** содержит следующие средства управления общими свойствами абзаца текста:

- Style** — раскрывающийся список выбора текстового стиля;
- Justification** — раскрывающийся список выбора способа выравнивания текста в текстовом окне;
- Width** — раскрывающийся список выбора ширины рамки текстового окна;
- Rotation** — раскрывающийся список выбора угла поворота текста.

Вкладка **Line Spacing** содержит следующие средства изменения расстояния между строками текста:

- Line Spacing** — раскрывающийся список выбора способа задания расстояния между строками;
- Spacing** — раскрывающийся список выбора расстояния между строками.

Вкладка **Find/Replace** содержит следующие средства поиска и замены фрагментов текста:

- Find** — раскрывающийся список с введенным текстом для поиска. Кнопка **Find** служит для запуска процедуры поиска указанного в списке текста.

**With Replace** — раскрывающийся список с введенным текстом для замены.

Кнопка **Replace** служит для запуска процедуры поиска и замены.

**Match Case** — флажок, который позволяет учитывать или не учитывать регистр;

**Whole Word** — флажок, который регламентирует возможность искать или не искать целое слово.

Кнопка **Import Text** позволяет импортировать обычный текстовый файл (.TXT или .RTF) в окно редактора **Multiline Text Editor**.

#### 4. Последовательность выполнения работы

Изучите теоретические сведения графических примитивах AutoCAD.

Опробовать действия с изученными командами.

Теоретически ознакомьтесь со всеми командами для нанесения однострочных и многострочных текстов на чертежах.

Получите индивидуальное задание от преподавателя и выполните его.

Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

#### 5. Контрольные вопросы

Поясните назначение запросов команды **RAY** (*Луч*).

Поясните назначение запросов команды **Polygon** (*Многоугольник*).

Поясните назначение запросов команды **Rectangle** (*Прямоугольник*).

Поясните назначение запросов команды **Donut** (*Кольцо*).

Поясните назначение запросов команды **Text** (*Текст*).

Поясните назначение запросов команды **Multiline Text** (*Многострочный Текст*).

Какими управляющими кодами можно осуществить вставку специальных знаков в текст?

# Лабораторная работа №6

## Средства формирования чертежей

### 1 Общие положения

**Цель работы:** Изучить принцип работы с простым графическим примитивом блок и его атрибутами, понять принцип создания локальных и автономных блоков, показать различные средства вставки в чертеж ранее определенных блоков. Рассмотреть команды вставки и передачи объектов между файлами и внутри файла через буфер обмена.

### 2 Работа с графическим примитивом блок и его атрибутами

Пакет AutoCAD 2002 предоставляет пользователю различные способы работы с данными в чертежах. В том случае, когда в чертеже часто встречается одна и та же группа объектов (крепежные изделия, подшипники, уплотнения и т. п.) целесообразно использовать блоки. Блоки — это именованные объекты, состоящие из любого количества примитивов системы AutoCAD. Блоки можно создавать, модифицировать, удалять, переименовывать и переносить на другой чертеж. При необходимости блок можно расчленить на исходные объекты (примитивы).

Одно из преимуществ использования блоков - уменьшение размера файла чертежа. Описание блока сохраняется только один раз, а его повторения представлены в базе данных чертежа как ссылки на исходный элемент.

Возможны два типа блоков: локальные и автономные.

- Локальные блоки входят в состав того чертежа, в котором они были созданы, и не могут быть перенесены в другой чертеж.
- Автономные блоки хранятся в виде отдельного файла чертежа и могут быть использованы в других чертежах.

Кроме того, перенос объектов из одного файла чертежа в другой возможен и через буфер обмена *Windows*. Этот способ позволяет переносить объекты без изменения их свойств или с масштабированием, но не способствует экономии памяти.

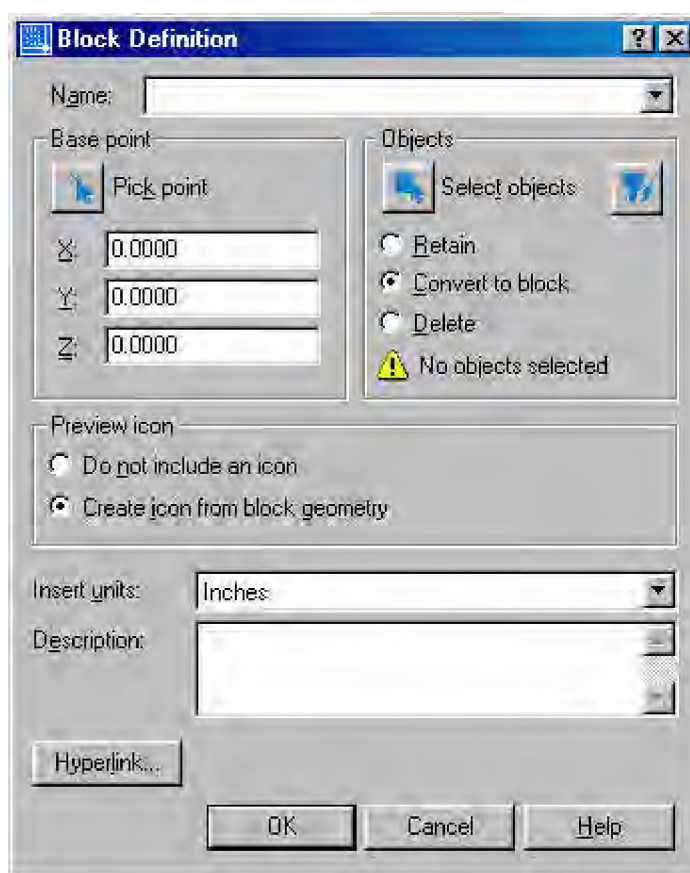
#### 2.1 Создание локальных блоков

Команда **BLOCK(БЛОК)** – создание локального блока из объектов текущего чертежа. Вызов команды через командную строку вводом команды **BLOCK (B)**. Команде соответствуют кнопка **Make Block (Создать блок)** панели инструментов **Draw** (рис. 2.1.1) или пункт **Block**, подпункт **Make** падающего меню **Draw**.



Рис. 2.1.1 Кнопка команды **BLOCK**

В ответ на команду система открывает диалоговое окно **Block Definition** (рис. 2.1.2), средствами которого можно сформировать блок из существующих примитивов чертежа. Окно содержит поле ввода, три панели, два раскрывающихся списка и кнопку **Hyperlink**.



*Рис. 2.1.2 Создание описания блока*

Раскрывающийся список **Name** позволяет ввести имя нового создаваемого блока или выбрать в перечне существующих блоков текущего чертежа имя блока для его переопределения. Список снабжен контекстным меню.

Кнопка **Hyperlink** позволяет включить в описание создаваемого блока гиперсвязь.

Панель **Base Point** позволяет определить на изображении блока базовую точку. Базовой называется точка, используемая для вставки блока. Панель содержит три поля ввода и кнопку.

- Поля ввода X, Y и Z позволяют задать числовые значения координат базовой точки в текущей системе координат. Поля имеют контекстные меню.
- Кнопка **Pick Point** позволяет указать нужную точку на чертеже. После щелчка по этой кнопке диалоговое окно временно закрывается, и пользователь имеет возможность указать базовую точку на изображении блока.

Панель **Object** позволяет выбрать объекты чертежа, подлежащие включению в блок. Панель содержит три кнопки выбора, информационное поле и две кнопки.

- Кнопка **Select Object** позволяет выбрать объекты на экране монитора. После щелчка по этой кнопке диалоговое окно закрывается и пользователь имеет возможность выбрать объекты для включения в состав блока.
- Кнопка **Quick Object** позволяет выбрать объекты с помощью функции быстрого отбора AutoCAD. После щелчка по этой кнопке открывается диалоговое окно **Quick Select**, где пользователь имеет возможность для отбора объектов, включаемых в состав блока, воспользоваться их свойствами.

- Кнопка выбора **Retain** устанавливает режим, при котором объекты, вошедшие в состав блока, одновременно с записью в базу данных чертежа, сохраняются в текущем чертеже в прежнем состоянии, а в блоке они повторены.
- Кнопка выбора **Convert to block** устанавливает режим, при котором объекты, вошедшие в состав блока, одновременно с записью в базу данных чертежа заменяются в текущем чертеже созданным блоком.
- Кнопка выбора **Delete** устанавливает режим, при котором объекты, вошедшие в состав блока, одновременно с записью в базу данных чертежа удаляются из текущего чертежа.
- Информационное поле отображает количество выбранных объектов. В том случае, когда не выбран ни один объект, соответствующая надпись сопровождается изображением восклицательного знака.

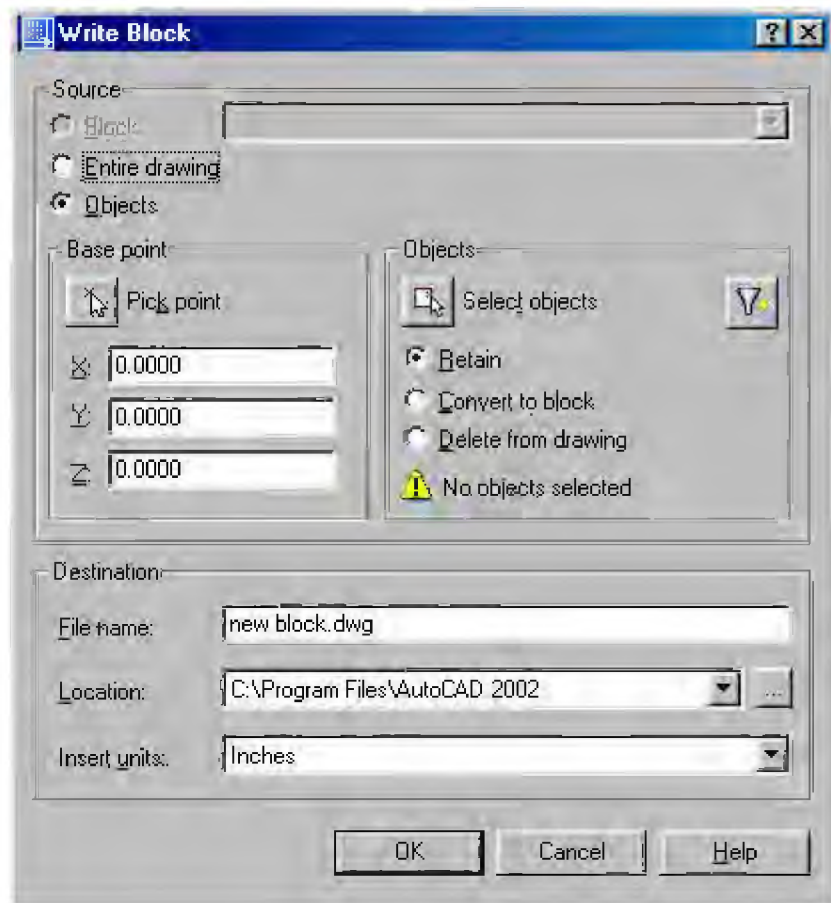
Панель **Preview icon** управляет процессом создания изображения блока для предварительного просмотра в **AutoCAD Designer-Center**. Панель содержит две кнопки выбора и информационное поле.

- Кнопка выбора **Do not include an icon** устанавливает режим, при котором изображения блока для предварительного просмотра в **AutoCAD DesignerCenter** не создается.
- Кнопка выбора **Create icon from block geometry** устанавливает режим, при котором создается изображение блока для предварительного просмотра в **AutoCAD DesignerCenter**.
- Информационное поле содержит изображение с видом блока.
- Раскрывающийся список **Insert units** позволяет выбрать единицы измерения, которые планируется использовать при вставке блока в другие чертежи. Обычное значение — **Milimeters**.
- Поле ввода **Description** содержит текстовое сообщение с информацией о назначении и специфике использования блока.

**Замечания** – Блок может быть вставлен многократно. Если под старым именем будет создан новый блок, то все существующие в чертеже блоки с этим именем будут обновлены. Иными словами, если в чертеже есть повторяющиеся фрагменты, из которых образованы блоки, то произойдет их синхронное изменение. Если перед именем команды ввести префикс <->, то диалог с системой будет осуществляться в командной строке. Этот прием можно использовать при последовательном создании нескольких блоков.

## 2.2 Создание автономных блоков

Команда **WBLOCK** – создание автономного блока из объектов текущего чертежа. Вызов команды через командную строку вводом команды **WBLOCK (W)**. В ответ на команду система открывает диалоговое окно **Write Block** (рис. 2.2.1), средствами которого можно сформировать автономный блок из существующих примитивов чертежа или локального блока. Окно содержит четыре панели.



*Рис. 2.2.1 Создание автономного блока*

Панель **Source** позволяет задать способ определения автономного блока. Она содержит кнопки для выбора способа определения автономного блока, раскрывающийся список и две панели **Objects** и **Base point**.

- Кнопка выбора **Block** позволяет создать автономный блок, используя ранее созданный локальный блок. Имя локального блока можно выбрать в раскрывающемся списке, который становится доступным при выборе кнопки **Block**.
- Кнопка выбора **Entire drawing** позволяет создать автономный блок, используя в качестве блока весь чертеж.
- Кнопка выбора **Objects** позволяет создать автономный блок без предварительного создания локального блока. При выборе кнопки **Objects** становятся доступными панели **Objects** и **Base point**, необходимые для отбора объектов и задания базовой точки автономного блока.

Панель **Objects** позволяет выбрать на чертеже объекты для включения в автономный блок. Она содержит информационное поле, две кнопки для отбора объектов и три кнопки выбора способа преобразования отобранных объектов после включения их в состав автономного блока.

- Кнопка **Select Object** позволяет выбрать объекты на экране монитора. После щелчка по этой кнопке диалоговое окно закрывается и пользователь имеет возможность выбрать объекты для включения в состав блока.
- Кнопка **Quick Object** позволяет выбрать объекты с помощью функции быстрого отбора AutoCAD. После щелчка по этой кнопке открывается диалоговое окно **Quick Select**, где пользователь имеет возможность для отбора объектов, включаемых в состав блока, воспользоваться их свойствами.

- Кнопка выбора **Retain** позволяет при создании автономного блока оставить отобранные объекты без преобразования.
- Кнопка выбора **Convert to block** позволяет при создании автономного блока преобразовать отобранные объекты в локальный блок текущего чертежа.
- Кнопка выбора **Delete** позволяет при создании блока удалить отобранные объекты из чертежа.

Панель **Base point** позволяет задать положение базовой точки автономного блока. Она содержит кнопку для задания базовой точки графическим курсором и поля ввода координат точки.

- Поля ввода X, Y и Z позволяют задать числовые значения координат базовой точки в текущей системе координат. Поля имеют контекстные меню.
- Кнопка **Pick Point** позволяет указать нужную точку на чертеже. После щелчка по этой кнопке диалоговое окно временно закрывается и пользователь имеет возможность указать базовую точку на изображении автономного блока.

Панель **Destination** позволяет определить размещение автономных блоков. Она содержит поле ввода и два раскрывающихся списка.

- Поле ввода **File Name** позволяет задать имя файла, в котором будет сохранен автономный блок. Поле снабжено контекстным меню.
- Раскрывающийся список **Location** позволяет задать имя каталога, в котором будет сохранен файл автономного блока. Если щелкнуть на кнопке с многоточием, то откроется диалоговое окно **Browse for Folder**, где можно выбрать имя каталога для сохранения файла автономного блока.
- Раскрывающийся список **Insert Units** позволяет выбрать единицы измерения, которые будут использоваться при вставке блока.

## 2.3 Определение базовой точки блока

Команда **BASE** – определяет базовую точку для последующей вставки текущего чертежа в виде блока. Вызов команды через командную строку вводом команды **BASE** или пункт **Block, Base** (*Блок, Базовая*) падающего меню **Draw**.

В ответ на команду система выдает первый запрос:

- **Enter base point <0.0000,0.0000,0.0000>:**
- *Укажите базовую точку <значение по умолчанию>:*

Возможные ответы:

- ввести координаты базовой точки;
- нажать клавишу ENTER, если по умолчанию система предлагает координаты нужной базовой точки.

**Замечания** – Тот же самый результат можно получить путем ввода значения системной переменной **INSBASE**. На точки вставки локальных блоков команда не влияет.

## 2.4 Вставка ранее определенных блоков

Команда **INSERT** (*Вставка*) – служит для вставки ранее определенных блоков. Вызов команды через командную строку вводом команды **INSERT (I)**. Команде соответствуют кнопка **Insert Block** (*Вставить блок*) панели инструментов **Draw** (рис. 2.4.1) и пункт **Block** падающего меню **Insert**.





Рис. 2.4.1 Кнопка команды **INSERT**

В ответ на команду система открывает диалоговое окно Insert (рис. 2.4.2). Окно содержит три панели, раскрывающийся список, информационное поле и кнопку-переключатель.

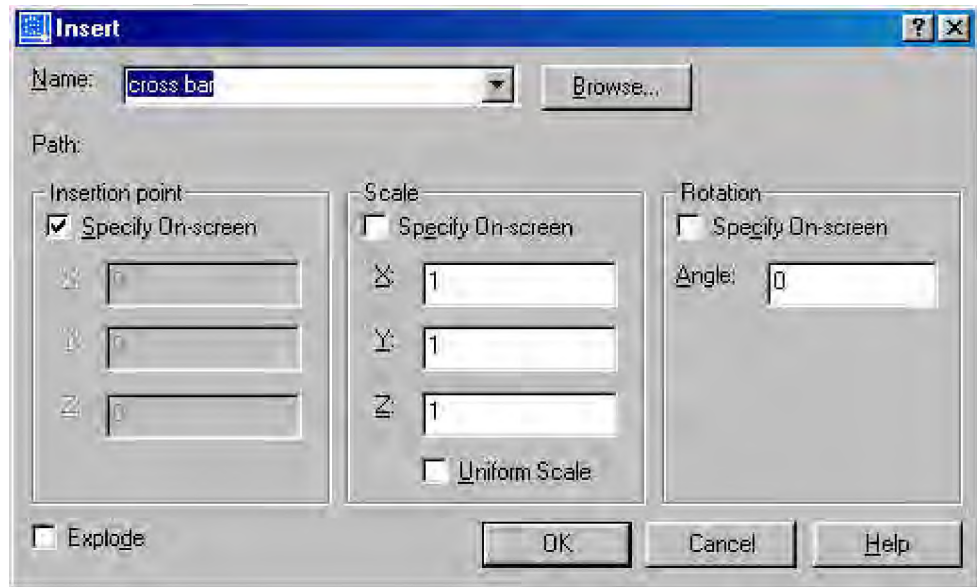


Рис. 2.4.2. Диалоговое окно вставки блоков

Раскрывающийся список **Name** позволяет выбрать для вставки в текущий чертеж существующий локальный блок. Чтобы вставить в текущий чертеж автономный блок, нужно нажать кнопку **Browse**, а затем выбрать необходимый файл.

Информационное поле **Path** содержит путь к отобраемому файлу автономного блока.

Флажок **Explode** разрешает системе при вставке блока расчленить его на исходные объекты.

Панель **Insertion point** позволяет выбрать способ задания координат точки вставки блока (точки, с которой будет совмещена базовая точка, созданная при формировании блока): указание на чертеже или ввод числовых значений координат. Панель содержит кнопку-переключатель и три поля для ввода числовых значений координат точки.

- Поля ввода **X**, **Y** и **Z** позволяют задать числовые значения координат точки вставки блока в текущей системе координат. Поля имеют контекстные меню.
- Флажок **Specify On-screen** разрешает указать нужную точку на чертеже. После щелчка по кнопке **OK** диалоговое окно временно закрывается и пользователь имеет возможность указать точку вставки блока на чертеже. Одновременно в командной строке появляется следующий запрос системы:
  - **Specify insertion point or [Scale/X/Y/Z/Rotate/PScale/ PX/PY/PZ/PRotate]:**
  - *Укажите точку вставки или ...:*

Панель **Scale** позволяет выбрать способ задания коэффициентов масштабирования при вставке блока: указание на чертеже или ввод числовых значений. Панель содержит



две кнопки-переключателя и три поля для ввода числовых значений масштаба по осям координат.

- Поля ввода **X**, **Y** и **Z** позволяют задать числовые значения коэффициентов масштабирования при вставке блока по осям координат. Поля имеют контекстные меню.
- Флажок **Specify On-screen** разрешает задать значения коэффициентов масштабирования на чертеже. После щелчка по кнопке ОК диалоговое окно временно закрывается и дальнейший диалог осуществляется в командной строке.
  - **Enter X scale factor, specify opposite corner, or [Corner/XYZ] <1>:**
  - *Укажите масштаб по оси X, укажите противоположный угол или ... <значение по умолчанию>:*
  - **Enter Y scale factor <use X scale factor>:**
  - *Укажите масштаб по оси Y (по умолчанию равен масштабу по оси X):*
- Флажок **Uniform Scale** устанавливает по осям координат одинаковые значения коэффициентов масштабирования.

Панель **Rotation** позволяет выбрать способ задания при вставке блока угла поворота относительно номинального его положения: указание на чертеже или ввод числового значения. Панель содержит кнопку-переключатель и поле ввода числового значения угла поворота.

- Поле ввода **Angle** позволяют задать числовые значения угла поворота при вставке блока. Поле имеет контекстное меню.
- Флажок **Specify On-screen** разрешает задать значения угла поворота на чертеже. После щелчка по кнопке ОК диалоговое окно временно закрывается и дальнейший диалог осуществляется в командной строке.
  - **Specify insertion point or [Scale/X/Y/Z/Rotate/PScale/ PX/PY/PZ/PRotate]:**
  - *Укажите точку вставки или ...:*
  - **Specify rotation angle <0>:**
  - *Укажите угол поворота <значение по умолчанию>:*

Если перед именем команды вставки добавить знак минус (-ВСТАВИТЬ (-INSERT)), то команда вставки будет работать в режиме командной строки, т. е. без диалогового окна. Первый запрос, который она выдает — это запрос имени вставляемого объекта:

- **Enter block name or [?] <ОБЪЕКТ\_1>:**
- *Имя блока или [?] <ОБЪЕКТ\_1>:*

В качестве значения по умолчанию в скобках предлагается имя предыдущего, вставленного блока. Нужно либо согласиться со значением по умолчанию, нажав на клавишу <Enter>, либо ввести другое имя блока, или знак вопроса для просмотра списка имен блоков, описанных в текущем рисунке. После указания имени блока остальные запросы команды вставки совпадают с рассмотренными выше.

Есть еще одна команда вставки блока, которую можно выполнить из командной строки. Это команда **МВСТАВИТЬ (MINSERT)**. Она вставляет блок в одну точку, а затем копирует его как элементы прямоугольного массива (аналогично команде **МАССИВ (ARRAY)**). Команда **МВСТАВИТЬ (MINSERT)** сначала выдает такие же запросы, как и предыдущая команда вставки, но затем появляются дополнительные:

- **Enter number of rows (---) <1>:**
- *Число рядов (---) <1>:*

- **Enter number of columns (|||) <I>:**
  - Число столбцов (|||) <I>:
  - 
  - **Enter distance between rows or specify unit cell (---):**
  - Расстояние между рядами или размер ячейки (---):
- Возможные ответы:
- с клавиатуры задать число рядов (строк) в будущей прямоугольной матрице из вхождений блока.
  - с клавиатуры требуется указать количество столбцов.
  - с клавиатуры ввести число, оно будет воспринято как расстояние между рядами, а если ввести точку, то координаты ее смещения относительно точки вставки блока станут расстоянием между рядами и расстоянием между столбцами. Если задано только одно число (т. е. расстояние между рядами), то выдается следующий запрос:
    - **Specify distance between columns (|||):**
    - Расстояние между столбцами (|||):

## 2.5 Определение атрибутов блока

**Атрибут** — специальный объект **AutoCAD**, связанный с блоком. Атрибут используется для хранения вместе с блоком отдельных текстовых строк. При вставке блока эти строки можно редактировать, т. е. однажды создав блок, в который входит атрибут, с каждой вставкой блока в чертеж изменять текст. Распространенный пример использования атрибутов — заполнение основной надписи чертежа.

Команда **ATTDEF** – определение атрибутов блока. Вызов команды через командную строку вводом команды **ATTDEF (ATT)** или пункт **Block**, подпункт **Define Attributes** из падающего меню **Draw**. В ответ на команду система открывает диалоговое окно **Attribute Definition** (рис. 2.5.1). Окно содержит четыре панели и кнопку-переключатель.

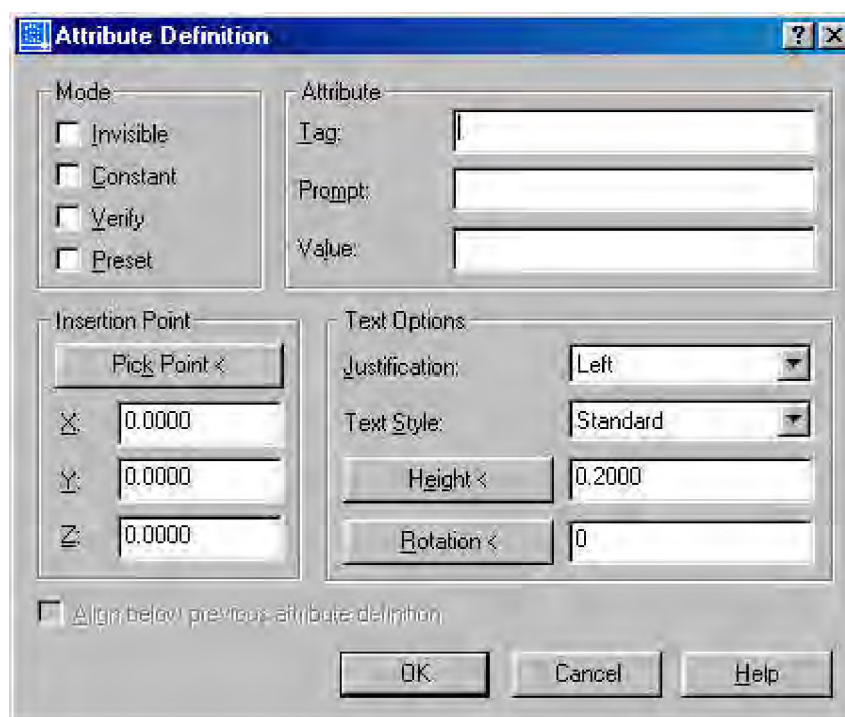


Рис. 2.5.1 Определение атрибутов блока

Флажок **Align below previous attribute** разрешает установить режим выравнивания по предыдущему атрибуту.

Панель **Mode** позволяет задать режим, характеризующий состояние атрибута. Панель содержит четыре кнопки выбора.

- Кнопка выбора **Invisible** устанавливает режим, при котором атрибут невидим при вставке блока.
- Кнопка выбора **Constant** устанавливает режим, при котором атрибут имеет постоянное значение при всех вставках блока.
- Кнопка выбора **Verify** устанавливает режим, при котором атрибут может быть отредактирован при вставке блока.
- Кнопка выбора **Preset** устанавливает режим, при котором атрибут автоматически получает значение по умолчанию при вставке блока.

Панель **Attribute** позволяет задать имя и значение атрибута. Панель содержит три поля ввода.

- Поле ввода **Tag** позволяет задать имя атрибута, которое в дальнейшем будет использоваться для извлечения атрибута из базы данных. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода **Prompt** позволяет задать текстовую расшифровку имени атрибута (подсказку). Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода **Value** позволяет задать значение атрибута по умолчанию. Поле снабжено контекстным меню.

Панель **Insertion point** позволяет выбрать способ задания координат точки вставки атрибута: указание на чертеже или ввод числовых значений координат. Панель содержит кнопку и три поля для ввода числовых значений координат точки.

- Поля ввода **X, Y и Z** позволяют задать числовые значения координат точки вставки атрибута в текущей системе координат. Поля имеют контекстные меню.
- Кнопка **Pick Point** позволяет указать нужную точку на чертеже. После щелчка по этой кнопке диалоговое окно временно закрывается и пользователь имеет возможность указать точку вставки атрибута на чертеже.

Панель **Text Options** позволяет выбрать параметры форматирования текста при выводе значения атрибута на чертеже. Панель содержит два раскрывающихся списка и два поля ввода.

- Раскрывающийся список **Justification** позволяет указать способ выравнивания текста.
- Раскрывающийся список **Text Style** позволяет указать стиль текста.
- Поле ввода **Height** позволяет задать высоту текста. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода **Rotation** позволяет указать угол поворота текста. Поле снабжено контекстным меню.

**Замечание** – Если создаются несколько атрибутов в одном блоке, то при создании второго и всех последующих атрибутов рекомендуется устанавливать флажок **Align below previous attribute**, разрешающий режим выравнивания по предыдущему атрибуту.

## 3 Передача объектов между файлами и внутри файла через буфер обмена

### 3.1 Команды переноса объекта (объектов) в буфер обмена

**Команда CUTCLIP** – перенос объекта (объектов) в буфер обмена (Clipboard). Вызов команды через командную строку вводом команды **CUTCLIP** или выпадающее меню **Edit** вкладка **Cut**, или инструментальная панель **Standart Toolbar** кнопка **Cut to Clipboard** (рис.3.1.1).



Рис. 3.1.1 Кнопка команды CUTCLIP

При действии данной команды объект (или объекты) удаляются из файла чертежа (и, следовательно, с экрана) и помещаются в буфер обмена. Если в дальнейшем данный объект не вставить обратно, то при последующем сохранении файла данный объект (или объекты) будут утрачены. Команда генерирует запрос:

- **Select objects:**
- *Укажите объекты:*

**Команда COPYCLIP** – копирует объекты в буфер обмена, не удаляя их из чертежа. Вызов команды через командную строку вводом команды **COPYCLIP** или выпадающее меню **Edit** вкладка **Copy**, или инструментальная панель **Standart Toolbar** кнопка **Copy** (рис.3.1.2).



Рис. 3.1.2 Кнопка команды COPYCLIP

При выполнении данной команды копируемый объект остается на своем месте. Команда генерирует запрос:

- **Select objects:**
- *Укажите объекты:*

**Команда COPYBASE** – копирует объекты в буфер обмена с указанием точки привязки. Вызов команды через командную строку вводом команды **COPYBASE** или выпадающее меню **Edit** вкладка **Copy with Base Point**.

После вызова команды следует запрос на указание точки привязки:

- **Specify base point:**
- *Укажите базовую точку:*

Возможные ответы:

- любыми известными способами требуется указать эту точку.

Точка привязки требуется в дальнейшем при вставке объекта из буфера. При копировании объекта через буфер без точки вставки место расположения скопированного объекта может оказаться совершенно произвольным, и в дальнейшем возникает необходимость переместить его в нужное место. После указания опорной точки появляется запрос на выбор объектов:

- **Select objects:**
- *Укажите объекты:*

**Команда COPYLINK** – сохранение образа экрана в буфер обмена. Вызов команды через командную строку вводом команды **COPYLINK** или выпадающее меню **Edit** вкладка **Copy Link**.

Команда **COPYLINK** позволяет перенести образ экрана через буфер обмена в качестве объекта *OLE*, например, в документ Word. Вставка объектов, сохраненных подобным образом, из буфера в файл AutoCAD эквивалентна их копированию.

### 3.2 Команды вставки объекта из буфера обмена

**Команда PASTECLIP** – вставка объекта из буфера обмена. Вызов команды через командную строку вводом команды **PASTECLIP** или выпадающее меню **Edit** вкладка **Paste** или инструментальная панель **Standart Toolbar** кнопка **Paste from Clipboard**(рис. 3.2.1).



Рис. 3.2.1 Кнопка команды **PASTECLIP**

Команда генерирует запрос точки вставки объектов:

- **Specify insertion point:**
- *Укажите точку вставки:*

Для удобства расположения вставляемого объекта точку вставки полезно учитывать при копировании объекта в буфер.

**Команда PASTEBLOCK** – вставка объекта из буфера обмена в виде блока. Вызов команды командную строку вводом команды **PASTEBLOCK** или выпадающее меню **Edit** вкладка **Paste as Block**.

В прежних версиях AutoCAD применялась только такая вставка объекта из буфера. Команда генерирует запрос на указание точки вставки:

- **Specify insertion point:**
- *Укажите точку вставки:*

Имя вставляемого блока присваивается самой программой и может быть совершенно неожиданным, например A\$C5C130DDB.

## 4. Последовательность выполнения работы

1. Изучите теоретические сведения о графическом примитиве **BLOCK(БЛОК)**.
2. Опробовать действия с изученными командами примитива **BLOCK(БЛОК)** и его атрибутами.
3. Теоретически ознакомьтесь со всеми командами для вставки ранее определенных блоков в создаваемые чертежи.
4. Практически изучите передачу объектов между файлами и внутри файла через буфер обмена
5. Получите индивидуальное задание от преподавателя и выполните его.
6. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

## 5. Контрольные вопросы

1. Поясните назначение команды **BLOCK**.
2. Поясните назначение команды **WBLOCK**.
3. Поясните назначение запросов команды **BASE**.
4. Поясните назначение команды **INSERT**.
5. Что такое атрибут блока?
6. Поясните назначение запросов команд переноса объекта (объектов) в буфер обмена.
7. Поясните назначение запросов команд вставки объекта из буфера обмена.

# Лабораторная работа №7

## Редактирование чертежей в AutoCAD

### 1 Общие положения

**Цель работы:** Изучить принцип работы редактирования чертежей с помощью команд общего редактирования в системе AutoCAD.

### 2 Команды общего редактирования

Кнопки команд общего редактирования объектов (копирование, перенос, удлинение и т. п.) расположены в панели **Modify** (*Редактирование*) (рис. 2.1). Каждую из этих команд, рассмотренную в данном разделе, можно ввести по имени с клавиатуры, а также вызвать с помощью падающего меню **Modify**. Многие команды данной группы работают либо с набором предварительно выбранных объектов, либо при отсутствии такого набора выдают запрос **Select objects:** (*Выберите объекты:*). Остальные команды запрашивают редактируемые объекты в соответствующий момент времени.



Рис. 2.1 Панель Modify

**Команда ERASE** – используется для удаления из чертежа одного или нескольких выбранных объектов. Вызов команды через командную строку вводом команды: **ERASE (E)** или может быть вызвана с помощью кнопки **ERASE** (рис. 2.2) панели инструментов **Modify** или пункта **ERASE** падающего меню **Modify**.



Рис. 2.2 Кнопка команды ERASE

Первый запрос системы в ответ на команду:

**Select objects:**

*Выберите объекты:*

Возможные ответы:

- укажите один или группу графических объектов любым известным способом. Предполагается, что если указана группа объектов, то вся она будет удалена.
- система повторяет подобные запросы неограниченное количество раз, до тех пор пока пользователь не нажмет клавишу **ENTER**.

Иные возможные ответы на запрос системы:

- **SI** – используется, если необходимо удалить только один объект.
- **L** – используется, если необходимо удалить последний вычерченный объект.

**Замечание:** – Команда позволяет выбрать объекты как после, так и до ее задания.

**Команда COPY** – обеспечивает создание одной или нескольких копий одного или группы графических примитивов. Вызов команды через командную строку вводом команды: **COPY (CO)** или может быть вызвана с помощью кнопки **Copy Object** (рис. 2.3) панели инструментов **Modify** или пункта **COPY** падающего меню **Modify**.



Рис. 2.3 Кнопка команды COPY

Первый запрос системы в ответ на команду:

- **Select objects:**
- *Выберите объекты:*

Возможные ответы:

- укажите один графический примитив или их группу любым известным способом. Предполагается, что если указана группа примитивов, то вся она будет скопирована.

Второй запрос системы:

- **Specify base point or displacement, or [Multiple]:**
- *Задайте базовую точку или перемещение или ...:*

Возможные ответы:

- укажите базовую точку (точка, относительно которой предполагается копирование объектов) на одном из дублируемых объектов.

Следующий запрос системы:

- **Specify second point of displacement or <use first point as displacement**
- *Задайте вторую точку перемещения или <используйте координаты | первой точки как смещение>*

Возможный ответ:

- укажите точку с помощью графического курсора или введите относительные координаты (префикс @). Вторая точка становится точкой на дубликате, которая соответствует первой точке на оригинале.
- введите координаты точки смещения относительно точки выбора объекта (префикс @ при задании координат не используется).

Следующий запрос системы:

- **Specify second point of displacement or <use first point as displacement>**
- *Задайте вторую точку перемещения или <используйте координаты первой точки как смещение>:*

Возможный ответ:

- нажмите клавишу ENTER.

Иной возможный ответ на второй запрос системы:

- **M** – используется, если необходимо создать несколько копий объекта, при этом система инициирует следующие запросы:
  - **Specify base point:**
  - *Задайте базовую точку:*
  - **Specify second point of displacement or <use first point as displacement>**
  - *Задайте вторую точку перемещения или <используйте координаты первой точки как смещение>*
  - **Specify second point of displacement or <use first point as displacement>**
  - *Задайте вторую точку перемещения или <используйте координаты первой точки как смещение>*

Запросы повторяются для каждой новой копии. Для завершения работы с командой нажмите клавишу **ENTER**.



**Замечание** – Команда позволяет выбрать объекты как после ее задания, так и до ее задания.

**Команда MIRROR** – создает зеркальное отражение существующих на чертеже примитивов или их групп относительно заданной оси симметрии. При этом оригиналы изображения можно сохранить или удалить. Вызов команды через командную строку вводом команды: **MIRROR (M)** или может быть вызвана с помощью кнопки **MIRROR** (рис. 2.4) панели инструментов **Modify** или пункта **MIRROR** падающего меню **Modify**.



**Рис. 2.4** Кнопка команды **MIRROR**

Первый запрос системы в ответ на команду:

- **Select objects:**
- *Выберите объекты:*

Возможный ответ:

- укажите один или группу графических примитивов любым известным способом. Предполагается, что если указать группу примитивов, то вся она будет зеркально отражена относительно указанной оси симметрии.

Второй запрос системы:

- **Specify first point of mirror line:**
- *Задайте первую точку оси отражения:*

Возможный ответ:

- укажите любым известным способом первую точку оси симметрии.

Третий запрос системы:

- **Specify second point of mirror line:**
- *Задайте вторую точку оси отражения:*

Возможный ответ:

- укажите любым известным способом вторую точку оси симметрии.

Последний запрос системы:

- **Delete source objects? [Yes/No] <N>:**
- *Удалить исходные объекты? <параметр по умолчанию>:*

Возможные ответы:

- нажмите клавишу **ENTER**, если необходимо сохранить оригинал зеркально отражаемого объекта;
- введите **Y**, если необходимо удалить исходные объекты.

**Замечания:** – Команда позволяет выбрать объекты как после, так и до ее задания. Ось симметрии (отрезок, положение которого определяется первой и второй точками) может проходить под любым углом к горизонтали. Длина оси не существенна – важно задать ее направление. Ось симметрии может не быть реальным отрезком. При выполнении команды **MIRROR** рекомендуется установить режим **Ortho**, так как в большинстве случаев оси симметрии ортогональны. При зеркальном отображении участков чертежа, содержащего текст, последний становится трудночитаемым. Чтобы устранить данное неудобство, необходимо предварительно установить значение системной переменной **MIRRTXT** равным нулю.

**Команда OFFSET** – строит примитив, подобный другому графическому примитиву. Новый, подобный примитив проходит через заданную точку на чертеже или

на заданном расстоянии от исходного. Вызов команды через командную строку вводом команды: **OFFSET (O)** или может быть вызвана с помощью кнопки **OFFSET** (рис. 2.5) панели инструментов **Modify** или пункта **OFFSET** падающего меню **Modify**.



**Рис. 2.5** Кнопка команды **OFFSET**

Первый запрос системы в ответ на команду:

**Specify offset distance or [Through] <10.0000>:**

*Задайте величину постоянного смещения каждого объекта или... <значение по умолчанию>:*

Дальнейший диалог с системой зависит от выбранного способа построения подобных объектов

- режим **Through** – то подобный объект будет построен проходящим через заданную впоследствии точку на чертеже.
- режим **Offset** – то системе необходимо указать величину смещения (ввести числовое значение с помощью клавиатуры) и позицию относительно примитива-оригинала. Подобный элемент чертежа будет построен на заданном смещении от оригинала и в нужную сторону от него.

По умолчанию система всегда предлагает тот режим использования данной команды, который был применен в предыдущий раз. Возможные ответы на запрос системы по умолчанию:

- введите с помощью клавиатуры числовое значение величины смещения;
- нажмите клавишу **ENTER**, если нет необходимости изменять числовое значение величины смещения;
- укажите первую точку, если необходимо явно задать величину смещения на чертеже; при этом система инициирует дополнительный запрос:
  - **Specify second point:**
  - *Задайте вторую точку:*

Следующий запрос системы:

- **Select object to offset or <exit>:**
- *Укажите объект для создания подобного или <выход>:*

Возможный ответ:

- явно укажите графическим курсором один исходный объект на чертеже.

Следующий запрос системы:

- **Specify point on side to offset:**
- *Задайте точку на стороне смещения:*

Возможный ответ:

- указать графическим курсором точку с той стороны объекта, где желательно построить ему подобный.

Следующий запрос системы:

**Select object to offset or <exit>:**

*Укажите объект для создания подобного или <выход>:*

Возможные ответы:

- явно укажите графическим курсором следующий исходный объект на чертеже, чтобы построить ему подобный, используя ту же величину смещения;

- нажмите клавишу **ENTER** для завершения работы с командой. Иной возможный ответ на первый запрос системы:
- **T** – используется, если необходимо построить объект, подобный исходному, проходящий через указанную точку, при этом система инициирует дополнительные запросы:
  - **Select object to offset or <exit>:**
  - *Укажите объект для создания подобного или <выход>:*
  - **Specify through point:**
  - *Задайте точку, через которую должна пройти трансформированная копия объекта:*
  - **Select object to offset or <exit>:**
  - *Укажите объект для создания подобного или <выход>:*

**Замечания:** – Для использования с командой **OFFSET** можно выбирать дуги, окружности, эллипсы, отрезки, лучи, прямые, полилинии, сплайны, при этом указанные примитивы трансформируются следующим образом:

- *дуга* – новая дуга имеет центральный угол и точку центра исходной дуги, однако длина дуги изменяется;
- *окружность, эллипс* – новые объекты имеют центр исходных объектов, однако их радиусы изменяются;
- *отрезки, лучи, прямые* – новые объекты являются дубликатами исходных;
- *полилинии* – конечные точки новой полилинии размещаются вдоль нормали, направленной к соответствующим конечным точкам исходной полилинии, в результате чего изменяются длины линейных и дуговых сегментов новой полилинии;
- *сплайн* – конечные точки нового сплайна размещаются вдоль нормали, направленной к соответствующим конечным точкам исходного сплайна, в результате чего изменяются длина и форма нового сплайна.

Нельзя трансформировать объекты, находящиеся в плоскости, не параллельной текущей ПСК. Для создания подобного дубликата можно одновременно выбирать только один объект, причем разрешен только явный выбор объектов.

**Команда ARRAY** – тиражирует изображение графического примитива или их группы в заданной прямоугольной или круговой структуре. Вызов команды производится через командную строку вводом команды: **ARRAY (AR)** или может быть вызвана с помощью кнопки **ARRAY** (рис. 2.6) панели инструментов **Modify** или пункта **ARRAY** падающего меню **Modify**.

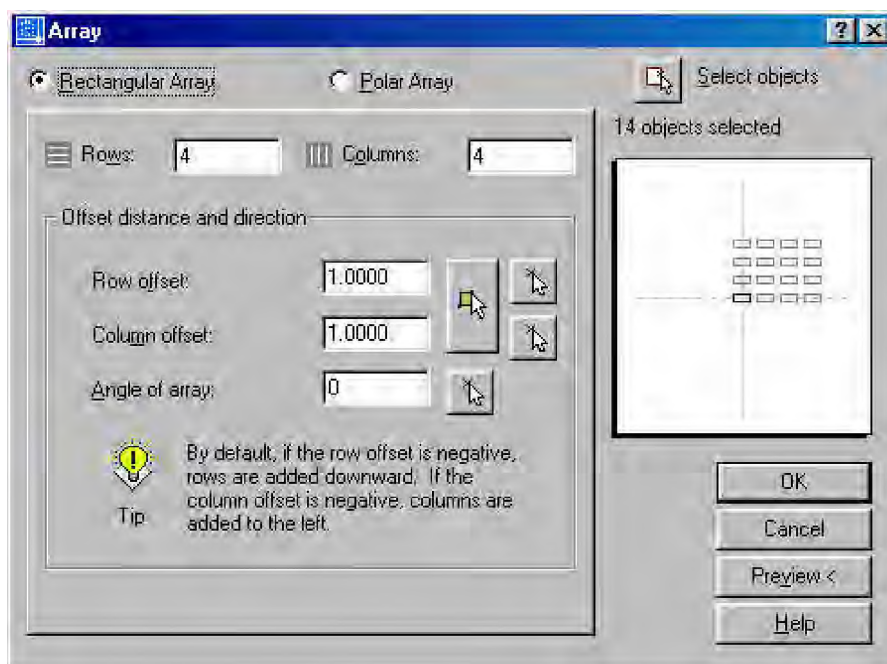


**Рис. 2.6** Кнопка команды **ARRAY**

В ответ на команду система открывает диалоговое окно **Array**. Окно содержит две кнопки выбора, информационное поле, панель и кнопку.

- Кнопка выбора **Rectangular Array** устанавливает копирование выбранных объектов в виде прямоугольного массива.
- Кнопка выбора **Polar Array** устанавливает копирование выбранных объектов в виде кругового массива.
- Кнопка **Select Object** позволяет перейти в режим указания объектов, массив из которых необходимо создать.
- Информационное поле отображает вид создаваемого массива.

Панель служит для ввода параметров массива. В зависимости от выбора пользователя **Rectangular Array** или **Polar Array** состав компонентов панели изменяется. В режиме создания прямоугольного массива панель ввода параметров содержит следующие компоненты (рис. 2.7).



**Рис. 2.7** Ввод данных для тиражирования выбранных объектов в прямоугольный массив

- Поле ввода **Rows** служит для задания числа строк прямоугольного массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода **Columns** служит для задания числа столбцов прямоугольного массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода **Row offset** служит для задания расстояния между строками массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода **Column offset** служит для задания расстояния между столбцами массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода **Angle of array** служит для задания угла наклона осей, вдоль которых строится массив. Поле снабжено контекстным меню.
- Кнопка **Pick Both Offsets** позволяет задать расстояния между строками и столбцами массива, указав на графическом экране две произвольные точки. При этом расстояние между строками равно разности координат указанных точек вдоль оси X, а расстояние между столбцами равно разности координат указанных точек вдоль оси Y.
- Кнопка **Pick Row Offset** позволяет задать расстояние между строками массива, указав на графическом экране две произвольные точки.
- Кнопка **Pick Column Offset** позволяет задать расстояние между столбцами массива, указав на графическом экране две произвольные точки.
- Кнопка **Pick Angle of Array** позволяет задать угол наклона осей массива, указав на графическом экране две произвольные точки.

В режиме создания полярного массива панель ввода параметров содержит следующие компоненты (рис. 2.8).

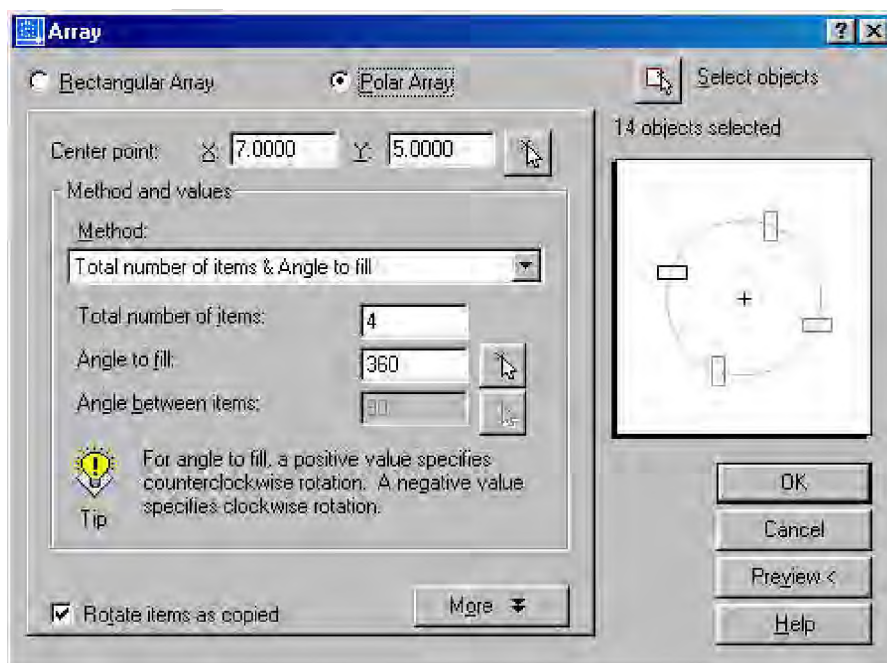


Рис. 2.8 Ввод данных для тиражирования выбранных объектов в круговой массив

- Поля ввода **Center point X:, Y:** служат для задания координат центра массива. Поля снабжены контекстным меню.
- Кнопка **Pick Center Point** позволяет задать центр массива, указав на графическом экране произвольную точку;
- Раскрывающийся список **Method** позволяет выбрать режим создания полярного массива:
  - **Total number of items & Angle to fill** — создание массива с определенным числом элементов, равномерно распределенных в пределах заданного угла;
  - **Total number of items & Angle between items** — создание массива с определенным числом элементов и заданным угловым шагом;
  - **Angle to fill & Angle between items** — создание массива элементов, расположенных в пределах определенного угла с заданным угловым шагом.
- Поле ввода **Total number of items** служит для задания общего числа элементов массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода **Angle to fill** служит для задания угла, в пределах которого размещаются элементы массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода **Angle between items** служит для задания углового шага между элементами массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Флажок **Rotate items as copied** разрешает режим, при котором объекты создаваемого массива поворачиваются на соответствующий угол;
- Кнопка **More** открывает дополнительную панель **Object base point**, позволяющую задать положение базовой точки объекта (точки, расстояние до которой от центра массива остается постоянным).

Панель **Object base point** содержит следующие компоненты.

- Флажок **Set to object's default** разрешает использовать режим определения базовой точки, принятой для данного объекта по умолчанию:
  - точка центра для окружностей и эллипсов;
  - первый угол для многоугольников и прямоугольников;
  - начальная точка для линий, полилиний, сплайнов и лучей;
  - точка вставки для блоков и текста;

- средняя точка для конструкционных линий.
- Поля ввода **Base point X:, Y:** служат для задания координат базовой точки объекта, которая отличается от принятой по умолчанию.
- Кнопка **Pick Base Point** позволяет задать базовую точку объекта, указав на графическом экране произвольную точку.

После задания всех необходимых параметров и выбора кнопки ОК система производит построение массива элементов и завершает работу с командой.

**Замечания:** – Команда позволяет выбрать объекты как после ее задания, так и до ее задания. Каждый элемент массива можно редактировать независимо от других элементов. Прямоугольные массивы выравниваются по осям X и Y текущей системы координат.

**Команда MOVE** – Осуществляет перенос одного или группы графических примитивов без изменения их ориентации. Вызов команды через командную строку вводом команды: **MOVE (M)** или может быть вызвана с помощью кнопки **MOVE** (рис. 2.9) панели инструментов **Modify** или пункта **MOVE** падающего меню **Modify**.



Рис. 2.9 Кнопка команды **MOVE**

Первый запрос системы в ответ на команду:

- **Select objects:**
- *Выберите объекты:*

Возможный ответ:

- укажите один или группу графических примитивов любым известным способом. Предполагается, что если будет указана группа примитивов, то вся она будет перенесена в новое место.

Второй запрос системы:

- **Specify base point or displacement:**
- *Задайте базовую точку или перемещение:*

Возможный ответ:

- укажите базовую точку (точка, относительно которой предполагается перенос объектов) на одном из перемещаемых объектов.

Следующий запрос системы:

- **Specify second point of displacement or <use first point as displacement>**
- *Задайте вторую точку перемещения или <используйте координаты первой точки как смещение>:*

Возможный ответ:

- укажите вторую точку с помощью графического курсора или введите относительные координаты (напоминаем, что необходимо использовать префикс @). Вторая точка становится точкой, с которой совмещается базовая точка при переносе выбранной группы объектов.
- введите координаты точки смещения относительно точки выбора объекта, если точно известно желаемое перемещение (префикс @ при задании координат не используется).

Следующий запрос системы:

- **Specify second point of displacement or <use first point as displacement>:**

- *Задайте вторую точку перемещения или <используйте координаты первой точки как смещение>:*

Возможный ответ:

- нажмите клавишу **ENTER**.

**Замечание:** – Команда позволяет выбрать объекты как после, так и до ее задания.

**Команда ROTATE** – Обеспечивает поворот одного или группы графических примитивов вокруг заданной базовой точки. Вызов команды через командную строку вводом команды: **ROTATE (RO)** или может быть вызвана с помощью кнопки **ROTATE** (рис. 2.10) панели инструментов **Modify** или пункта **ROTATE** падающего меню **Modify**.



**Рис. 2.10** Кнопка команды **ROTATE**

В ответ на команду система выводит в окне команд сообщение о текущих значениях системных переменных, определяющих начало и управляющих положительным направлением отсчета углов, а затем выдает первый запрос:

- **Current positive angle in UCS: ANGDIR=counterclockwise ANGBASE=0**  
**Select objects:**

- *Выберите объекты:*

Возможный ответ:

- укажите один или группу графических примитивов любым известным способом. Предполагается, что вся группа примитивов будет повернута относительно указанной впоследствии базовой точки.

Второй запрос системы:

**Specify base point:**

*Задайте базовую точку:*

Возможный ответ:

- укажите базовую точку на экране дисплея любым известным способом.

Третий запрос системы:

- **Specify rotation angle or [Reference]:**

- *Задайте угол поворота или ...:*

Возможный ответ:

- укажите с помощью клавиатуры числовое значение угла поворота. Иной возможный ответ на третий запрос системы:

- **R** используется, если необходимо повернуть объект относительно существующего угла; при этом система инициирует дополнительные запросы:

- **Specify the reference angle <0>:**

- *Задайте относительный угол <значение по умолчанию>:*

Возможный ответ:

- Введите числовое значение угла, если это значение известно.

- Для автоматического определения значения угла нужно указать на примитиве две точки с помощью объектной привязки.

- **Specify the new angle:**

- *Задайте новый угол:*

**Замечания:** – Команда позволяет выбрать объекты как после, так и до ее задания. По умолчанию отсчет значений углов ведется от положительного направления



оси X. Против часовой стрелки — положительное значение угла, по часовой стрелке — отрицательное. Управление способом отсчета углов осуществляется с помощью системных переменных *ANGBASE* и *ANGDIR*.

**Команда SCALE** — изменяет размеры одного или группы графических примитивов относительно указанной базовой точки. Вызов команды через командную строку вводом команды: **SCALE (SC)** или может быть вызвана с помощью кнопки **SCALE** (рис. 2.11) панели инструментов **Modify** или пункта **SCALE** падающего меню **Modify**.



Рис. 2.11 Кнопка команды **SCALE**

Первый запрос системы в ответ на команду:

**Select objects:**

*Выберите объекты:*

Возможный ответ:

- укажите один или группу графических примитивов любым известным способом. Предполагается, что если указать группу примитивов, то вся она будет отмасштабирована относительно указанной впоследствии базовой точки.

Второй запрос системы:

- **Specify base point:**

- *Задайте базовую точку:*

Возможный ответ:

- укажите базовую точку на экране дисплея любым известным способом.

Третий запрос системы:

**Specify scale factor or [Reference]:**

*Задайте масштабный коэффициент или ...:*

Возможный ответ:

- укажите с помощью клавиатуры числовое значение масштабного коэффициента. Масштабный коэффициент больше единицы приводит к увеличению размеров объекта, масштабный коэффициент меньше единицы приводит к уменьшению размеров объекта.
- **R** используется, если необходимо изменить размеры объекта относительно существующих объектов; при этом система инициирует дополнительные запросы:

**Specify reference length <1>:**

*Задайте относительную длину <значение по умолчанию>:*

Возможный ответ:

- введите числовое значение длины, если это значение известно;
- для автоматического определения исходной длины нужно указать на примитиве с помощью объектной привязки две точки.

**Specify new length:**

*Задайте новую длину:*

**Замечания:** — Команда позволяет выбрать объекты как после, так и до ее задания. Базовая точка не меняет своего положения при изменении размеров объекта. Команда *SCALE* обеспечивает равный масштабный коэффициент по осям X и Y.



### **3. Последовательность выполнения работы**

- 1. Изучите основные приемы и команды редактирования чертежей.**
- 2. Вызвать задания выполненные в предыдущих лабораторных работах и приобрести навыки работы с каждой командой.**
- 3. Получите индивидуальное задание от преподавателя и выполните его.**
- 4. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.**

### **4. Контрольные вопросы**

- 1. Поясните назначение команд общего редактирования.**
- 2. Какими способами можно выбрать команды для редактирования объектов?**
- 3. Как произвести тиражирование изображения графического примитива или их группы в заданной прямоугольной или круговой структуре.**
- 4. Каким способом производится удаление первоначального объекта при зеркальном его отображении?**
- 5. Как осуществить копирование объектов?**
- 6. Как осуществить поворот объекта на определенный угол?**
- 7. Поясните назначение запросов команды SCALE.**

# Лабораторная работа №8

## Редактирование чертежей в AutoCAD

### 1 Общие положения

**Цель работы:** Продолжить изучение принципа работы редактирования чертежей с помощью команд общего редактирования в системе AutoCAD.

### 2 Команды общего редактирования

**Команда STRETCH** – обеспечивает растягивание или сжатие объекта, путем перемещения его части, сохраняя при этом непрерывность связанных линий. Вызов команды через командную строку вводом команды: **STRETCH** или может быть вызвана с помощью кнопки **STRETCH** (рис. 2.1) панели инструментов **Modify** или пункта **STRETCH** падающего меню **Modify**.



Рис. 2.1 Кнопка команды STRETCH

Первый запрос системы в ответ на команду:

- **Select objects to stretch by crossing-window or crossing-polygon...**
- **Select objects:**
- *Укажите объекты для растяжения: предполагаемой текущей рамкой, текущей рамкой, текущим многоугольником ...*
- *Выберите объекты:*
- **Specify opposite corner:**
- *Задайте противоположный угол:*

Возможные ответы:

- выберите один или группу графических примитивов указанным способом. Предполагается, что любые примитивы, полностью расположенные внутри рамки или многоугольника, будут перенесены без изменения их размеров.

Второй запрос системы:

- **Specify base point or displacement:**
- *Задайте базовую точку или перемещение:*

Возможные ответы:

- укажите базовую точку (точка, относительно которой предполагается перемещение выбранной части объектов).

Следующий запрос системы:

- **Specify second point of displacement:**
- *Задайте вторую точку перемещения:*

Возможные ответы:

- укажите вторую точку с помощью графического курсора или введите относительные координаты (напоминаем, что необходимо использовать префикс @). Вторая точка становится точкой, с которой совмещается базовая точка.
- введите смещение в виде приращений по осям X, Y, Z или расстояния от базовой до второй точки и угла, если точно известно желаемое перемещение (префикс @ при этом не используется).

Следующий запрос системы:

- **Specify second point of displacement:**
- *Задайте вторую точку перемещения:*

Возможные ответы:

- нажмите клавишу **ENTER**.

**Замечания** – При обращении к команде **STRETCH** можно использовать только один набор объектов. Если набор объектов определяется с помощью нескольких текущих рамок, то трансформации подвергаются объекты, выбранные последней текущей рамкой. Если в число выбранных объектов попали объекты, которые нежелательно трансформировать, то их можно удалить из набора с помощью параметра **Remove**. Прimitives круг, текст, блок растягивать нельзя. Любые разрешенные объекты, пересекаемые текущей рамкой при выборе, растягиваются путем перемещения их конечных точек, попавших в текущую рамку. Положение конечных точек, находящихся вне текущей рамки, остается неизменным. При трансформации объектов в ортогональном направлении рекомендуется включать режим **Ortho**.

**Команда LENGTHEN** – позволяет изменить длину открытых объектов и центральные углы дуг. Вызов команды через командную строку вводом команды: **LENGTHEN (LEN)** или может быть вызвана с помощью кнопки **LENGTHEN** (рис. 2.2) панели инструментов **Modify** или пункта **LENGTHEN** падающего меню **Modify**.



**Рис. 2.2** Кнопка команды **LENGTHEN**

В ответ на команду система выдает запрос и список уточняющих параметров:

- **Select an object or [DE]lta/[Percent]/Total/[DY]namic]:**
- *Укажите объект или ...:*

Возможные ответы:

- если указать какой-либо открытый объект, то система его измерит и сообщит пользователю длину этого объекта, а для дуги – центральный угол. Когда объект выбран, система повторяет первый запрос:
  - **Select an object or [DE]lta/[Percent]/Total/[DY]namic]:**
  - *Укажите объект или ...:*

Иные возможные ответы на первый запрос системы:

- **DE** – используется, если необходимо изменить размеры объекта на заданную величину (положительное значение увеличивает длину, отрицательное — уменьшает); при этом система инициирует дополнительный запрос:
  - **Enter delta length or [Angle] <20.0000>**
  - *Введите приращение длины или ... <значение по умолчанию>:*
  - **Select an object to change or [Undo]:**
  - *Укажите объект для изменения или ...:*

Возможные ответы:

- Если на дополнительный запрос системы выбрать параметр **A**, то следует запрос:
  - **Enter delta angle <0>:**
  - *Введите приращение угла <значение по умолчанию>:*
  - **Select an object to change or [Undo]:**
  - *Укажите объект для изменения или ...:*
- **P** – используется, если необходимо задать изменение размеров объекта в процентах по отношению к исходному (значение больше 100 увеличивает

объект, меньше – сжимает); при этом система инициирует дополнительный запрос:

- **Enter percentage length <100.0000>:**
  - *Введите относительное значение в процентах размеров объекта после коррекции <значение по умолчанию>:*
  - **Select an object to change or [Undo]:**
  - *Укажите объект для изменения или ...:*
  - **T** – используется, если необходимо задать изменение размеров объекта при его известных конечных размерах; при этом система инициирует дополнительный запрос:
    - **Specify total length or [Angle] <1.0000>:**
    - *Задайте конечный размер или ... <значение по умолчанию>:*
    - **Select an object to change or [Undo]:**
    - *Укажите объект для изменения или ...:*
- Возможные ответы:
- Если на дополнительный запрос системы выбрать параметр **A**, то реакция системы будет такой же, как описано выше.
  - **DY** используется, если необходимо переместить конечную точку объекта в нужное местоположение в динамическом режиме (выравнивание объекта не изменяется); при этом система инициирует дополнительный запрос:
    - **Select an object to change or [Undo]:**
    - *Укажите объект для изменения или ...:*
    - **Specify new end point:**
    - *Задайте новую конечную точку: U используется, если необходимо отменить последнее изменение.*

**Замечания** – При использовании команды **LENGTHEN** объекты должны выбираться только после ввода команды. Ближайшая к точке выбора конечная точка указывает изменяемую часть объекта.

**Команда TRIM** – обрезает существующий графический примитив (дугу, отрезок, открытую полилинию, луч, сплайн) до выбранной режущей кромки (граничной кромкой могут быть дуги, окружности, отрезки, полилинии, лучи, прямые, сплайны, текст). Вызов команды через командную строку вводом команды: **TRIM (TR)** или может быть вызвана с помощью кнопки **TRIM** (рис. 2.3) панели инструментов **Modify** или пункта **TRIM** падающего меню **Modify**.



Рис. 2.3 Кнопка команды **TRIM**

В ответ на команду система выдает сообщение, в котором приведены текущие значения двух системных переменных, управляющих процессом подрезания, а также первый запрос:

- **Current settings: Projection=UCS Edge=Extend**
- **Select cutting edges...**
- **Select objects:**
- *Выберите режущие кромки, указав составляющие их объекты:*

Ответ на запрос системы по умолчанию:

- укажите графическим курсором объект или объекты на чертеже, которые должны служить режущей кромкой. По мере указания граничных кромок соответствующие объекты помечаются — изображаются пунктирными

линиями. После указания очередной граничной кромки система тут же предлагает указать следующую кромку. Остановить эту последовательность запросов можно, нажав клавишу **ENTER**.

Второй запрос системы:

- **Select object to trim or [Project/Edge/Undo]:**
- *Выберите объект, который нужно обрезать или ...:*

Возможные ответы:

- укажите графическим курсором обрабатываемый примитив. Указывается тот край обрабатываемого примитива, который нужно обрезать. После указания очередного примитива система тут же предлагает указать следующий примитив. Остановить эту последовательность запросов можно нажатием клавиши **ENTER**. При выборе примитива, который вообще не пересекается с указанной режущей кромкой, следует системное сообщение:
  - **Object does not intersect an edge.**
  - *Объект не пересекается с граничной кромкой.*
  - **Select object to trim or [Project/Edge/Undo]:**
  - *Выберите объект, который нужно обрезать или ...:*

Иные возможные ответы на второй запрос системы:

- **P** – используется, если необходимо изменить режим, обрезания в трехмерном пространстве; при этом система инициирует дополнительный запрос:
  - **Enter a projection option [None/Ucs/View] <Lcs>:**
  - *Введите параметр, определяющий режим обрезания <параметр по умолчанию>:*
    - **N** – указывает, что обрезаются только объекты, которые фактически пересекаются с заданной режущей кромкой;
    - **U** – указывает, что обрезаются все объекты, принадлежащие плоскости XY текущей системы координат, в том числе фактически не пересекающиеся с заданной границей;
    - **V** – указывает, что обрезаются все объекты, принадлежащие плоскости, перпендикулярной текущему направлению взгляда, которые пересекаются с границей.
- **E** – используется, если необходимо изменить режим поиска пересечения, при этом система инициирует дополнительный запрос:
  - **Enter an implied edge extension mode [Extend/No extend] <Extend>:**
  - *Введите параметр, определяющий режим поиска пересечения <параметр по умолчанию>:*
    - **E** – разрешает обрезать объекты как до существующей режущей кромки, так и до воображаемой продолженной кромки;
    - **N** – разрешает обрезать объекты только до фактической режущей кромки.
- **U** – отменяет последнюю операцию.

**Замечания** – При использовании команды **TRIM** объекты должны выбираться только после ввода команды. В одном сеансе некоторый объект может быть использован и как режущая кромка, и как обрезаемый объект.

**Команда EXTEND** – удлиняет указанный графический примитив (дугу, отрезок, открытую полилинию, луч, сплайн) до выбранной кромки (граничной кромкой могут быть дуги, окружности, отрезки, полилинии, лучи, прямые, сплайны, текст). Вызов команды через командную строку вводом команды: **EXTEND (EX)** или может быть вызвана с

помощью кнопки **EXTEND** (рис. 2.4) панели инструментов **Modify** или пункта **EXTEND** падающего меню **Modify**.



Рис. 2.4 Кнопка команды **EXTEND**

В ответ на команду система выдает сообщение, в котором приведены текущие значения двух системных переменных, управляющих процессом удлинения, а также первый запрос:

- **Current settings: Projection=UCS Edge=None**
- **Select boundary edges ...**
- **Select objects:**
- *Выберите граничные кромки, указав их составляющие объекты:*

Ответ на запрос системы по умолчанию:

- укажите графическим курсором объект на чертеже, до которого должен быть удлинен элемент чертежа. По мере указания граничных кромок соответствующие объекты помечаются – изображаются пунктирными линиями. После указания очередной граничной кромки система тут же предлагает указать следующую. Остановить эту последовательность запросов можно, нажав клавишу **ENTER**.

Второй запрос системы:

- **Select object to extend or [Project/Edge/Undo]:**
- *Выберите объект, который нужно удлинить или ...:*

Возможные ответы:

- укажите графическим курсором обрабатываемый примитив. Указывать нужно тот край обрабатываемого примитива, который ближе располагается к граничной кромке. В противном случае система откажется выполнить удлинение примитива. При выборе примитива, который вообще не пересекается с указанной граничной кромкой, следует системное сообщение:
  - **No edge in that direction.**
  - *В этом направлении пересечения нет.*
  - **Select object to extend or [Project/Edge/Undo]:**
  - *Выберите объект, который нужно удлинить или ...:*
- **P** – используется, если необходимо изменить режим удлинения, при этом система инициирует дополнительный запрос:
  - **Enter a projection option [None/Ucs/View] <Ucs>:**
  - *Введите параметр, определяющий режим удлинения <параметр по умолчанию>:*
    - **N** – указывает, что удлиняются только объекты, которые фактически пересекаются с заданной границей;
    - **U** – указывает, что удлиняются все объекты, принадлежащие плоскости XY текущей системы координат, в том числе фактически не пересекающиеся с заданной границей;
    - **V** – указывает, что удлиняются все объекты, которые пересекаются с границей в текущем виде.
- **E** – используется, если необходимо изменить режим поиска пересечения, при этом система инициирует дополнительный запрос:
  - **Enter an implied edge extension mode [Extend/No extend] <Extend>:**
  - *Введите параметр, определяющий режим поиска пересечения <параметр по умолчанию>:*

- **E** – разрешает удлинять объекты как до фактической границы, так и до воображаемой продолженной границы;
- **N** – разрешает удлинять объекты только до фактической границы. **U** отменяет последнюю операцию.

**Замечания** – При использовании команды **EXTEND** объекты должны выбираться только после ввода команды. В одном сеансе некоторый объект может быть использован и как граничная кромка, и как удлиняемый объект.

**Команда BREAK** – дает возможность удалить часть отрезка, полилинии, дуги, окружности, эллипса, сплайна, прямой или луча, разбивая указанные примитивы на два примитива одинакового типа. Вызов команды через командную строку вводом команды: **BREAK (BR)** или может быть вызвана с помощью кнопки **BREAK** (рис. 2.4) панели инструментов **Modify** или пункта **BREAK** падающего меню **Modify**.



**Рис. 2.4** Кнопка команды **BREAK**

Первый запрос системы в ответ на команду:

- **Select object:**
- *Выберите объект:*

Ответ:

- укажите разрываемый графический примитив любым известным способом.

Второй запрос системы:

- **Specify second break point or [First point]:**
- *Задайте вторую точку или ...:*

Возможные ответы:

- укажите любым известным способом вторую точку разрыва на графическом примитиве. Точка выбора объекта в этом случае принимается системой в качестве точки начала разрыва.
- **F** – используется, если необходимо задать первую точку разрыва, не совпадающую с точкой выбора объекта, при этом система инициирует дополнительные запросы:
  - **Specify first break point:**
  - *Введите первую точку:*
  - **Specify second break point:**
  - *Введите вторую точку:*
- **@** – используется, если необходимо разорвать объект, не удаляя его части, в этом случае первая и вторая точки разрыва совпадают.

**Замечания** – при использовании команды **BREAK** объекты должны выбираться только после ввода команды. Для разрыва можно выбрать только один объект. Точки разрыва не обязательно указывать точно на графическом примитиве. Точку можно указать рядом с примитивом. Система поймет пользователя и найдет необходимую точку точно. При разрыве дуги или окружности удаляемый участок примитива строится от первой точки до второй против часовой стрелки. Инструментальная панель **Modify** имеет отдельную кнопку **Break at Point**, после нажатия которой команда **Break** разрывает объект, не удаляя его части. Если второй конец удаляемого участка графического примитива указать вне пределов самого примитива, то произойдет не разрыв элемента изображения, а его укорочение.

**Команда CHAMFER** – осуществляет усечение двух пересекающихся отрезков, лучей, прямых или линейных сегментов полилинии — создает фаску. Вызов команды через командную строку вводом команды: **CHAMFER (CHA)** или может быть вызвана с помощью кнопки **CHAMFER** (рис. 2.5) панели инструментов **Modify** или пункта **CHAMFER** падающего меню **Modify**.



**Рис. 2.5** Кнопка команды **CHAMFER**

В ответ на команду система выдает сообщение о текущем наборе параметров, который AutoCAD использует по умолчанию, и первый запрос:

- **(TRIM mode) Current chamfer Dist1 = 10.0000,**
- **Dist2 = 10.0000**
- *Режим TRIM. Текущие катеты фаски: Dist1 = 10.0000,*
- *Dist2 = 10.0000*
- **Select first line or [Polyline/Distance/Angle/Trim/Method]:**
- *Укажите первый отрезок или ...:*

**Ответ на запрос по умолчанию:**

- если нет необходимости изменять текущий набор параметров, то укажите графическим курсором первый отрезок, после этого система выдает второй запрос:
  - **Select second line:**
  - *Укажите второй отрезок:*

**Возможные ответы:**

- указать графическим курсором второй отрезок.
- **D** – используется, если необходимо создать фаску при известной длине катетов на первом и втором выбранном отрезке, при этом система инициирует дополнительные запросы:
  - **Specify first chamfer distance <10.0000>:**
  - *Задайте длину первого катета:*
  - **Specify second chamfer distance <5.0000>:**
  - *Задайте длину второго катета:*

Программа AutoCAD завершит выполнение команды. Чтобы вычертить фаску с установленными параметрами, необходимо повторить команду и поочередно указать первый и второй отрезок.

- **A** используется, если необходимо создать фаску при известных длине катета на первом выбираемом отрезке и значении угла в градусах, измеряемом относительно первого выбранного отрезка; при этом система инициирует дополнительные запросы:
  - **Specify chamfer length on the first line < 10.0000>:**
  - *Задайте длину катета для первого отрезка:*
  - **Specify chamfer angle from the first line <90>:**
  - *Задайте угол относительно первого отрезка:*

Программа AutoCAD завершит выполнение команды. Чтобы вычертить фаску с установленными параметрами, необходимо повторить команду и поочередно указать первый и второй отрезок.

- **P** – используется, если необходимо снять фаску по всем вершинам полилинии, при этом система инициирует дополнительный запрос:



- **Select 2D polyline:**
- *Выберите 2-мерную полилинию:*

Напоминаем, что желаемые размеры фаски необходимо установить предварительно, так как программа **AutoCAD** выполняет фаску с параметрами по умолчанию.

- **T** – разрешает или не разрешает подрезать исходные отрезки при выполнении команды **CHAMFER**, при этом система инициирует дополнительный запрос:
  - **Enter Trim mode option [Trim/No trim] <Trim>:**
  - *Задайте желаемый режим Trim <параметр по умолчанию>:*

Текущий режим указывается в сообщении, которое система помещает перед первым запросом команды.

- **M** – позволяет выбрать один из наборов параметров по умолчанию, дополнительный запрос системы:
  - **Enter trim method [Distance/Angle] <Angle>:**
  - *Выберите способ создания фаски: по двум катетам (D) или по катету и углу (A) <параметр по умолчанию>:*

Текущий набор параметров указывается в сообщении, которое система помещает перед первым запросом команды.

**Замечания** – При использовании команды **CHAMFER** объекты должны выбираться только после ввода команды. Порядок выбора отрезков важен для обоих способов построения фаски. Если оба указанных отрезка не пересекались на чертеже, то система удлинит их и усечет фаской заданной длины. Если длина фаски задана нулевой, то система просто соединит оба отрезка. Если два выбранных отрезка находятся на одном слое, то фаска вычерчивается на этом же слое. Если два выбранных отрезка имеют различные свойства, то фаска вычерчивается со свойствами текущего объекта. Если линейные сегменты полилинии разделяет дуга, то дуговой сегмент заменяется фаской. Длина фасок может быть изменена также с помощью системных переменных **CHAMFERA**, **CHAMFERB**.

**Команда FILLET** – осуществляет сопряжение дугой заданного радиуса отрезков, дуг, окружностей или линейных сегментов полилинии. Вызов команды через командную строку вводом команды: **FILLET (F)** или может быть вызвана с помощью кнопки **FILLET** (рис. 2.6) панели инструментов **Modify** или пункта **FILLET** падающего меню **Modify**.



**Рис. 2.6** Кнопка команды **FILLET**

В ответ на команду система выдает сообщение о текущем наборе параметров, который программа AutoCAD использует по умолчанию, и первый запрос:

- **Current settings: Mode = NOTRIM, Radius = 5.0000**
- *Текущие установки: режим NOTRIM, радиус 5.0000*
- **Select first object or [Polyline/Radius/Trim]:**
- *Укажите первый объект или ...:*

Ответ на запрос по умолчанию:

- если нет необходимости изменять текущий набор параметров, то укажите графическим курсором первый сопрягаемый объект, после этого система выдаст второй запрос:
  - **Select second object:**
  - *Укажите второй объект:*

Возможные ответы:

- укажите графическим курсором второй сопрягаемый объект.
- **R** – используется, если необходимо выполнить сопряжение при известном численном значении радиуса сопряжения, при этом система инициирует дополнительный запрос:
  - **Specify fillet radius <10.0000>:**
  - *Задайте радиус сопряжения:*

Программа AutoCAD завершит выполнение команды. Чтобы вычертить сопряжение с установленными параметрами, необходимо повторить команду и поочередно указать первый и второй объекты.

- **P** – используется, если необходимо выполнить сопряжение по всем вершинам полилинии, при этом система инициирует дополнительный запрос:
  - **Select 2D polyline:**
  - *Выберите двухмерную полилинию:*

Напоминаем, что желаемое значение радиуса сопряжения необходимо установить предварительно, так как программа AutoCAD выполняет сопряжение с параметрами по умолчанию.

- **T** – разрешает или не разрешает подрезать исходные отрезки при выполнении команды **FILLET**, при этом система инициирует дополнительный запрос:
  - **Enter Trim mode option [Trim/No trim] <Trim>:**
  - *Задайте желаемый режим Trim <параметр по умолчанию>:*

Текущий режим указывается в сообщении, которое система помещает перед первым запросом команды.

**Замечания** – При использовании команды **FILLET** объекты должны выбираться только после ввода команды. Точка выбора указывает сохраняемую часть объекта. Если радиус сопряжения задан нулевым, то система просто соединит два непараллельных отрезка. Если два объекта пересекаются, AutoCAD оперирует с теми частями объектов относительно их пересечения, на которых указаны точки. Если два отрезка параллельны, то между их концами вычерчивается полукруг, при этом радиус сопряжения автоматически устанавливается равным половине расстояния между отрезками. Если два выбранных объекта находятся на одном слое, то их сопрягающая дуга вычерчивается на этом же слое. Если два выбранных объекта имеют различные свойства, то сопрягающая дуга вычерчивается со свойствами текущего объекта.

**Команда EXPLODE** – расчленяет составные объекты (блок, размерный блок, полилинию, область, штриховку) на составляющие их части. Вызов команды через командную строку вводом команды: **EXPLODE (X)** или может быть вызвана с помощью кнопки **EXPLODE** (рис. 2.7) панели инструментов **Modify** или пункта **EXPLODE** падающего меню **Modify**.



Рис. 2.7 Кнопка команды **EXPLODE**

Первый запрос системы в ответ на команду:

- **Select objects:**
- *Выберите объекты:*

Ответ:

- укажите объект любым известным способом.

Система повторяет первый запрос системы неограниченное количество раз, до тех пор пока пользователь не нажмет клавишу **ENTER**.

**Результаты работы команды зависят от типа объекта.**

- Для *блоков* воздействие команды приводит к замещению блока дубликатами составляющих его объектов.
- Для *размеров* воздействие команды приводит к замещению ассоциативного размера комбинацией объектов, его составляющих, и потере ассоциативности.
- Для *штриховки* воздействие команды приводит к замещению штриховки составляющими ее отрезками и потере ассоциативности.
- Для *полилиний* воздействие команды приводит к замещению полилинии комбинацией дуг и отрезков и потере толщины этих линий.
- Для *области* воздействие команды приводит к замещению области граничными объектами.

**Замечания** – Команда позволяет выбрать объекты как после, так и до ее задания. Расчлененный объект можно вернуть к первоначальному состоянию командой **U** или **UNDO**. Нельзя расчленить блоки, вставленные командой **MINsert**.

### 3. Последовательность выполнения работы

1. Изучите основные приемы и команды редактирования чертежей.
2. Вызвать задания выполненные в предыдущих лабораторных работах и приобрести навыки работы с каждой командой.
3. Получите индивидуальное задание от преподавателя и выполните его.
4. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

### 4. Контрольные вопросы

1. Поясните назначение команд общего редактирования.
2. Какими способами можно произвести растягивание или сжатие объекта?
3. Как произвести изменение длины открытых объектов и центральные углов дуг.
4. Какие действия выполняет команда **TRIM**?
5. Какие действия выполняет команда **EXTEND**?
6. Как осуществить усечение двух пересекающихся отрезков, лучей, прямых или линейных сегментов полилинии — создать фаску?
7. Как осуществить сопряжение дугой заданного радиуса отрезков, дуг, окружностей или линейных сегментов полилиний?
8. Поясните назначение команды **EXPLODE**.

# Лабораторная работа №9

## Редактирование чертежей в AutoCAD

### 1 Общие положения

**Цель работы:** Изучить принцип работы с редактированием чертежей в системе AutoCAD, понять принцип редактирования свойств объектов чертежа. Рассмотреть редактирование различных графических примитивов с помощью ручек.

### 2 Команды редактирования

Команды **AutoCAD** позволяют вносить в чертеж различные изменения. В **AutoCAD** можно сначала выбрать объекты, а затем ввести команду для работы с ними (режим предварительного выбора).

#### 2.1 Команда редактирования свойств объектов чертежа

Команда **PROPERTIES** – используется для редактирования свойств объектов чертежа. Команда может быть вызвана через командную строку вводом с клавиатуры команды: **PROPERTIES** или вызвана через пункт **PROPERTIES** падающего меню **Modify** или инструментальная панель **Standard Toolbar** кнопка **PROPERTIES**.

Команда открывает диалоговое окно **Properties** (рис. 2.1.1), внешний вид которого одинаков для всех случаев, однако перечень доступных параметров зависит от типа редактируемого объекта. Если выбран один объект, отображается диалоговое окно со всеми доступными свойствами, характеризующими этот объект. При выборе нескольких объектов отображается диалоговое окно с параметрами, которые характеризуют общие свойства всех этих объектов. Если не выбран ни один объект, диалоговое окно отображает общие характеристики чертежа.

Быстрее всего можно открыть диалоговое окно **Properties** двойным щелчком по объекту, свойства которого необходимо редактировать.

Диалоговое окно **Properties** может постоянно находиться в графическом окне **AutoCAD**, при этом разрешен свободный ввод команд. Верхняя часть окна отображает параметры, характеризующие общие свойства объектов, а нижняя часть — индивидуальные характеристики данного объекта.

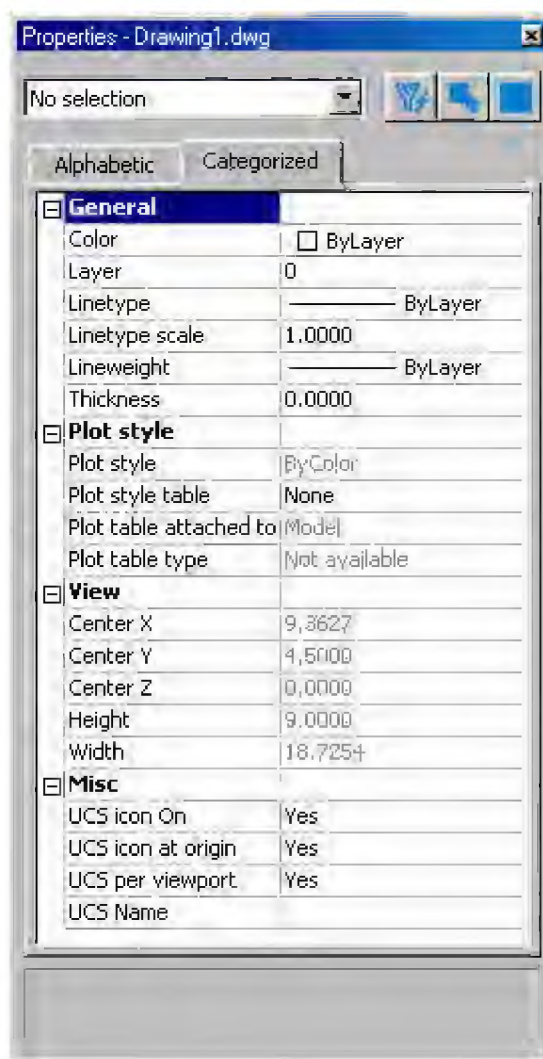
Предусмотрены следующие способы изменения значений параметров:

- ввести новое значение параметра с помощью клавиатуры;
- явно указать новые координаты точки на экране монитора (кнопка **Pick Point**);
- выбрать новое значение параметра из раскрывающегося списка;
- выбрать новое значение параметра в диалоговом окне.

Диалоговое окно **Properties** содержит две вкладки: **Categorized** и **Alphabetic** (первая распределяет свойства объектов по категориям, вторая — по алфавиту), раскрывающийся список выбранных объектов и три кнопки.

- Раскрывающийся список, расположенный в верхней части окна, содержит перечень выбранных объектов.

- Кнопка **Quick Select** открывает диалоговое окно с тем же именем, с помощью которого можно быстро выбрать объекты для редактирования по их типу и свойствам.
- Кнопка **Select Objects** диалогового окна **Properties** позволяет явно указать объекты, свойства которых необходимо модифицировать.
- Кнопка **Toggle value of PICKADD Sysvar** разрешает (на кнопке символ +) или запрещает (на кнопке символ 1) добавлять объекты в набор для редактирования.



*Рис. 2.1.1 Диалоговое окно **Properties***

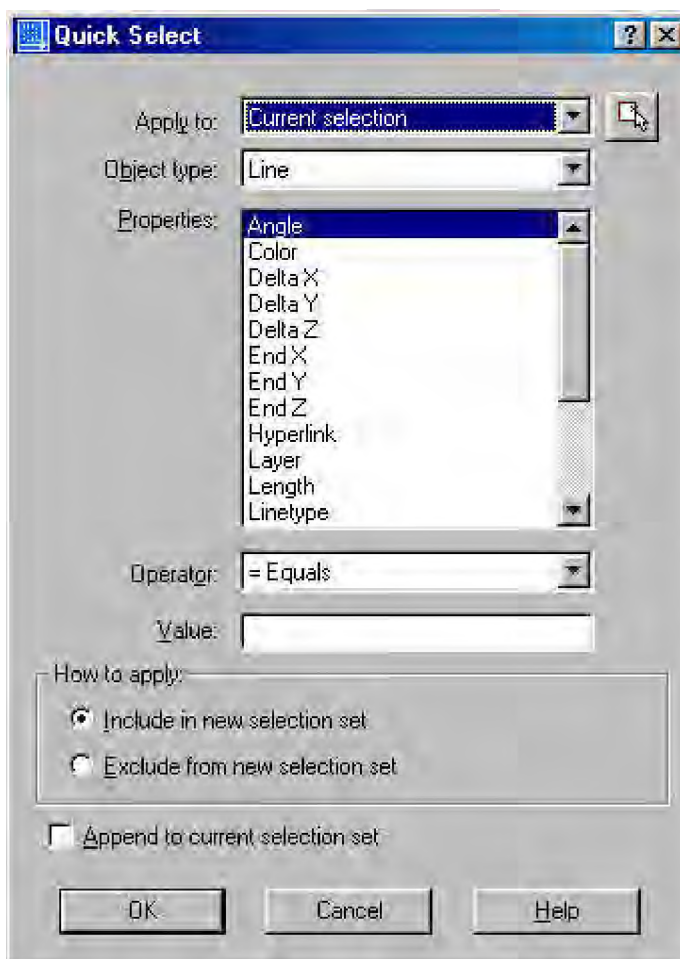
Диалоговое окно **Quick Select** (рис. 4.2) содержит четыре раскрывающихся списка, список свойств объектов, кнопку-переключатель, кнопку **Select Object** и панель **How to apply**.

- Раскрывающийся список **Apply To** определяет, применять или не применять критерий выбора ко всему чертежу. Если имеется текущий набор объектов, то критерий применяется к этому набору. Если текущий набор объектов отсутствует, критерий применяется к объектам всего чертежа.
- Кнопка **Select Objects** позволяет явно указать объекты, к которым необходимо применить критерий выбора. Программа AutoCAD разрешает создавать такие наборы, если включена кнопка выбора **Include In New Selection Set** панели **How to Apply** и сброшен флажок **Append to Current Selection Set**. Для возвращения в диалоговое окно **Quick Select** после создания набора объектов необходимо нажать клавишу **ENTER**.

- Раскрывающийся список **Object Type** позволяет выбрать тип объекта для фильтра, по умолчанию — **Multiple**. Если имеется текущий набор объектов, то в списке представлены только типы объектов данного набора. Если текущий набор объектов отсутствует, в списке представлены все доступные в системе **AutoCAD** типы объектов.
- Список **Properties** позволяет выбрать свойство объекта для фильтра. Это свойство, в свою очередь, определяет параметры, доступные в раскрывающихся списках **Operator** и **Value**.
  - Раскрывающийся список **Operator** позволяет задать способ выбора: равно, не равно, больше или меньше.
  - Раскрывающийся список **Value** позволяет определить значение свойства.

Панель **How to Apply** определяет, из каких объектов, соответствующих или не соответствующих критериям выбора, должен состоять новый набор. Панель содержит две кнопки выбора.

- **Include In New Selection Set** разрешает включать в набор только объекты, соответствующие критериям выбора.
- **Exclude from New Selection Set** разрешает включать в набор только объекты, не соответствующие критерию выбора.



*Рис. 4.2. Диалоговое окно Quick Select*

## 2.2 Команды редактирования действий команд

**Команда REDO** – служит для восстановления действия команды, только что отмененной командой U (UNDO). Команда может быть вызвана через командную строку вводом с клавиатуры команды: **REDO** или вызвана через пункт **REDO** падающего меню **Edit**, или инструментальная панель **Standard Toolbar** кнопка **REDO** (рис. 2.2.1).



Рис. 2.2.1 Кнопка команды **REDO**

**Команда UNDO** – служит для отмены результатов действия предыдущей команды. Команда может быть вызвана через командную строку вводом с клавиатуры команды: **UNDO** или **U** или вызвана через пункт **UNDO** падающего меню **Edit**, или инструментальная панель **Standard Toolbar** кнопка **UNDO** (рис. 2.2.2).



Рис. 2.2.2 Кнопка команды **UNDO**

**Замечания** – Многократное использование команды приводит к последовательной отмене действия всех команд, выполненных за текущий сеанс работы с программой AutoCAD. Команда **UNDO** сообщает имя отмененной команды.

## 3 Редактирование с помощью ручек

Выбранными объектами можно манипулировать с помощью – ручек. Если в командной строке стоит приглашение **Command:** (*Команда:*), то можно отметить на экране видимые объекты и на них появятся *ручки* — небольшие синие квадраты в характерных точках объектов. Ручки — очень удобный инструмент для быстрого изменения выделенного объекта.

Для примитива **LINE** – характерными точками являются конечные и средние точки. Выбрав конечную ручку с помощью курсора мыши ручка должна сменить синий цвет на красный. После чего **AutoCAD** выдает сообщение:

- **\*\* STRETCH \*\* Specify stretch point or [Base point/Copy/Undo/eXit]:**
- **\*\* РАСТЯНУТЬ \*\* Точка растягивания или [Базовая точка/Копировать/Отменить/выход]:**

Возможные ответы:

- с помощью мыши указать новое положение выделенной ручки;
- нажать на клавишу <Enter> и выбрать из циклического порядка команд необходимое действие: **MOVE**, **ROTATE**, **SCALE**, **MIRROR**, **STRETCH** (описание выполняемых действий будет описано в предыдущей лабораторной работе).

Выбрав мышью не конечную ручку, а среднюю, **AutoCAD** выдает запрос, как и в предыдущем случае. Укажите мышью новое положение средней точки. Отрезок переместится на новое место (перемещение задавалось для средней точки).

Аналогичным образом ручки используются и у других примитивов — для указания нового положения выбранной точки объекта или переноса всего объекта на новое место.

У примитива **XLINE** – прямая – высвечиваются базовая точка и две точки на прямой на небольшом расстоянии от базовой. Если переносить базовую точку, то перемещается вся линия, а если переносить точки других ручек, то базовая точка остается на месте, но изменяется наклон прямой.

Аналогично использование ручек для редактирования лучей (имя примитива в справочной информации – **RAY**). У луча высвечиваются две ручки: в базовой точке и в точке, определяющей направление. При перемещении базовой точки перемещается весь луч, при перемещении второй (направляющей) точки изменяется наклон луча.

Для примитива **CIRCLE** – высвечивается пять ручек: в центре и квадрантах (т. е. крайней верхней, нижней, левой и правой точках). При попытке перемещения центральной ручки окружность перемещается на новое место, а в случае редактирования окружности за любую из остальных ручек окружность растягивается, меняя радиус.

У примитива **ARC** высвечиваются три ручки: на концах и в середине. Перемещение любой из ручек ведет к изменению дуги, с построением новой дуги по трем точкам, из которых одна была новой.

Полилиния может быть представлена в информационном окне команды **LIST** (*Список*) с двумя наименованиями: **LWPOLYLINE**, т. е. легкая полилиния. и **POLYLINE**, т. е. сложная полилиния. Ручки высвечиваются на полилинии в концах сегментов и средних точках дуговых сегментов. При перемещении выбранной ручки на новое место прямолинейные сегменты меняются аналогично изменению отрезков при их перемещении за конечные точки, а дуговые сегменты — аналогично изменению дуг.

Примитив **MLINE** – мультилиния – редактируется с помощью ручек аналогично полилиниям.

Примитивы **TEXT** и **MTEXT** – текст и мультитекст – имеют ручки и тех точек, которые характеризуют положение или выравнивание текста. Любая из ручек может использоваться как инструмент для перемещения текста на новое место. В некоторых способах выравнивания (По ширине (Fit), **вписанный** (Aligned)) перемещение одной ручки изменяет также и наклон текста.

Команды падающего меню **Dimension** (Размеры) создают следующие примитивы; **DIMENSION**, **LEADER** и **TOLERANCE** (последние два переводятся как выноска и допуск). Изменения примитивов могут выполняться за любую ручку, что приводит к их перемещению или изменению формы.

Однако при редактировании размера с помощью ручек рекомендуется высвечивать ручки не только у размерного примитива, но и у объекта, для которого был проставлен размер. Когда вы перемещаете с помощью мыши ручку, к которой была привязана выносная линия размера, тогда происходит изменение не только основного объекта, но и его размерного примитива (рис. 3.8). Данное свойство называется *ассоциативностью размеров*.

Примитив **Dimension** имеет ручки не только у базовых точек, но и на концах выносных линий и у размерного текста. Эти ручки позволяют менять положение выносной линии и размерного текста (при этом общее оформление размера как единого целого сохраняется).



Редактирование штриховки с помощью ручек неэффективно, так как штриховка имеет всего одну ручку в центре тяжести и за эту ручку штриховку можно перенести на новое место (что, как правило, не имеет смысла). В тоже время следует вспомнить свойство ассоциативности штриховки. Благодаря этому свойству редактирование контура приведет к изменению штриховки, которая к нему привязана.

Ручки примитива **ELLIPSE** – эллипса и эллиптической дуги – высвечиваются в различных друг от друга местах. У полного эллипса их положение аналогично положению ручек окружности. При перемещении центральной ручки перемещается и весь выбранный эллипс. А вот если перемещать центральную ручку эллиптической дуги, то это приведет к изменению дуги, т. к. система **AutoCAD** старается сохранить конечные точки дуги на старом месте.

Процесс редактирования примитива **SPLINE** – сплайна – с помощью ручек похож на процесс редактирования полилинии, но при этом перемещение одной ручки оказывает влияние на форму и других участков сплайна.

Если с помощью ручек редактировать **TRACE** (*ПОЛОСУ*), то она при этом фактически превращается в фигуру. Аналогично редактируется и **SOLID** (*ФИГУРА*).

Редактирование узловых точек с помощью ручек очевидно. Удобным инструментом при редактировании с помощью ручек является контекстное меню. Если ручка для редактирования выбрана (т. е. на экране она изменила свой цвет на красный), то при нажатии правой кнопки мыши, вызывается контекстное меню, изображенное на рис. 3.1.

В данном меню возможны следующие действия:

- **Enter** — имитация нажатия клавиши <Enter> (циклический перебор команд общего редактирования);
- **Перенести** (Move) — перенос объектов (команда ПЕРЕНЕСТИ (MOVE));
- **Зеркало** (Mirror) — симметрирование объектов (команда ЗЕРКАЛО (MIRROR));
- **Повернуть** (Rotate) — поворот объектов (команда ПОВЕРНУТЬ (ROTATE));
- **Масштаб** (Scale) — масштабирование объектов относительно базовой точки (команда МАСШТАБ (SCALE));
- **Растянуть** (Stretch) — растягивание объектов (команда РАСТЯНУТЬ (STRETCH));
- **Базовая точка** (Base Point) — задание базовой точки вставки для текущего рисунка (команда БАЗА (BASE));
- **Копировать** (Copy) — копирование объектов (команда КОПИРОВАТЬ (COPY));
- **Ссылка** (Reference) — задание базовой точки для внешних ссылок;
- **Отменить** (Undo) — отмена действия последней команды (команда О (U));
- **Свойства** (Properties) — управление свойствами объектов (команда ОКНОСВ (PROPERTIES));
- **Соединиться с URL** (Go to URL) — загрузка программы-браузера Web-страниц и соединение с адресом, хранящимся в выбранном объекте (команда GOTOURL);
- **Выход** (Exit) — выход из режима редактирования с помощью ручек.

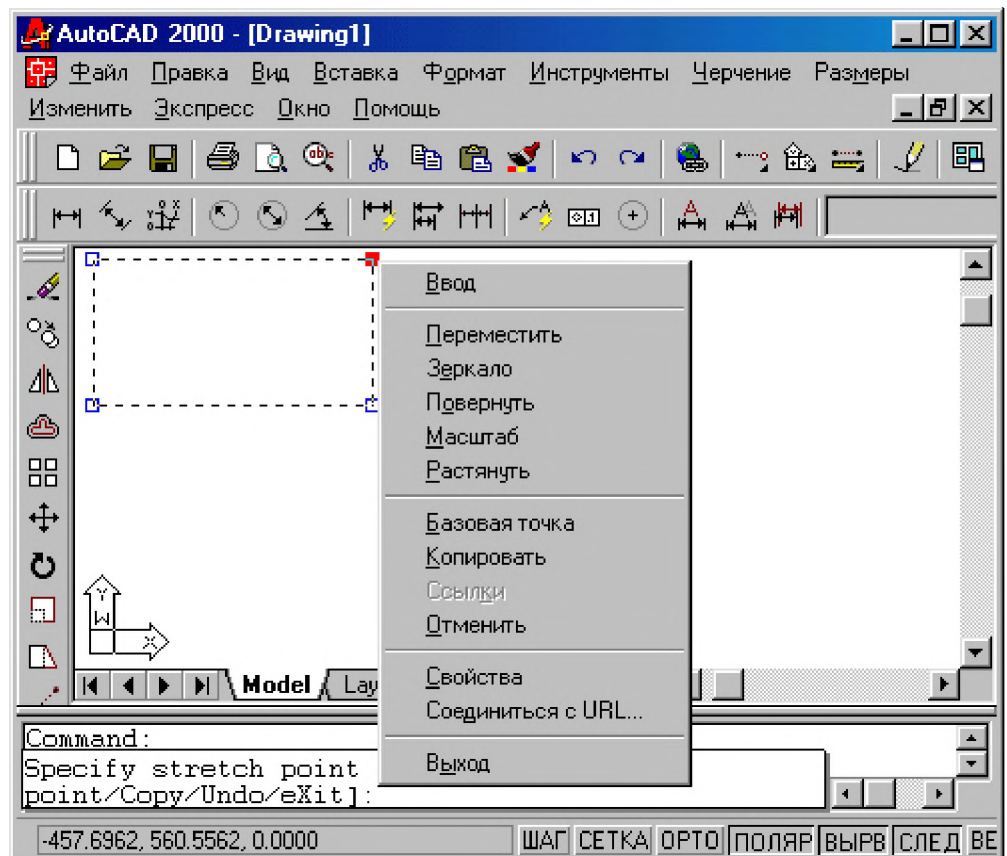


Рис. 3.1 Контекстное меню при выбранной ручке

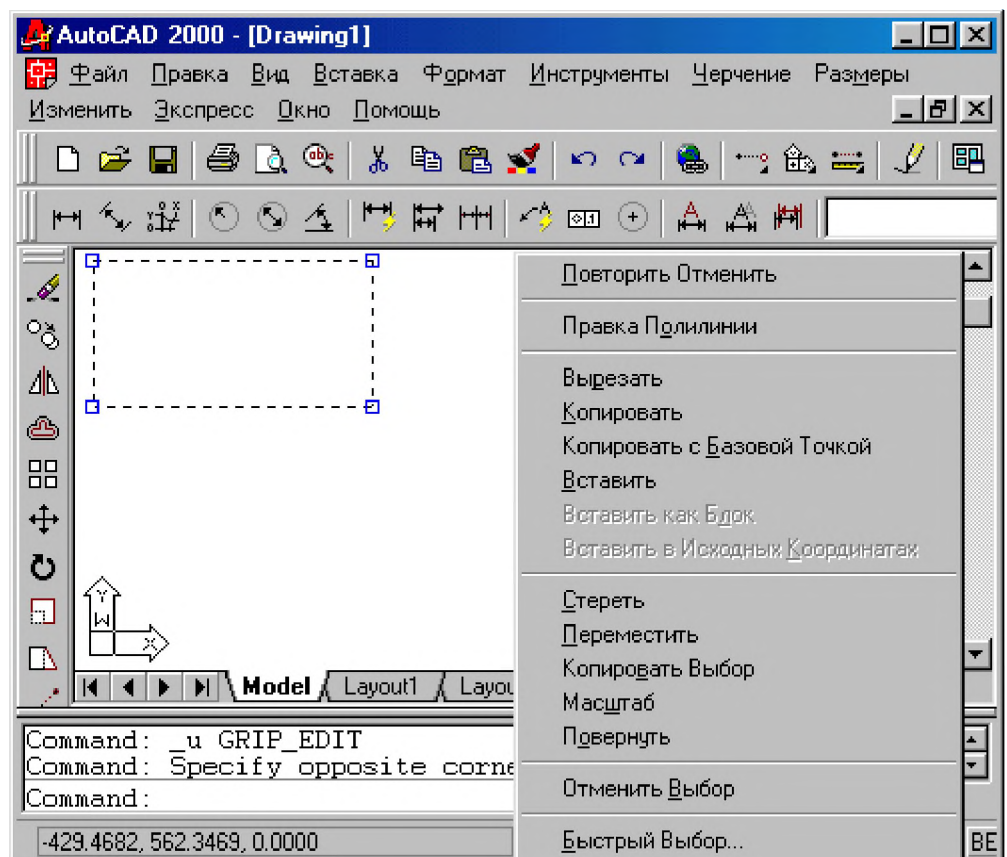


Рис. 3.2 Контекстное меню при отсутствии выбранных ручек

Ручка для редактирования не выбрана (т. е. на экране она не изменила свой цвет) то при нажатии правой кнопки мыши, вызывается контекстное меню, изображенное на рис. 3.2. Структура этого меню похожа на структуру предыдущего (см. рис. 3.1), но существуют и отличия. В группе команд общего редактирования появился пункт **Erase** (*Стереть*), который удаляет выбранные объекты.

Пункт **Deselect All** (*Отменить выбор*) позволяет отменить выбор ручек, т. е. равносителен двукратному нажатию на клавишу <Esc>.

Выше было описано что при выборе ручки она должна изменить цвет. В системе AutoCAD есть диалоговое окно **Options**, используемая для настройки функций и имеющее целый ряд вкладок и в частности вкладку **Selection** (*Выбор*) (рис. 3.3).

Правая часть вкладки посвящена настройке ручек. Во-первых, инструмент ручек можно вообще отключить, если сбросить флажок **Enable grips** (*Включить ручки*). Во-вторых, можно установить удобные для вас цвета невыбранных и выбранных ручек с помощью соответствующих полей **Unselected Grip Color:** (*Цвет невыбранных ручек:*) и **Selected Grip Size:** (*Цвет выбранных ручек:*). Поле **Grip Size** (*Размер ручек*) позволяет менять размер ручек.

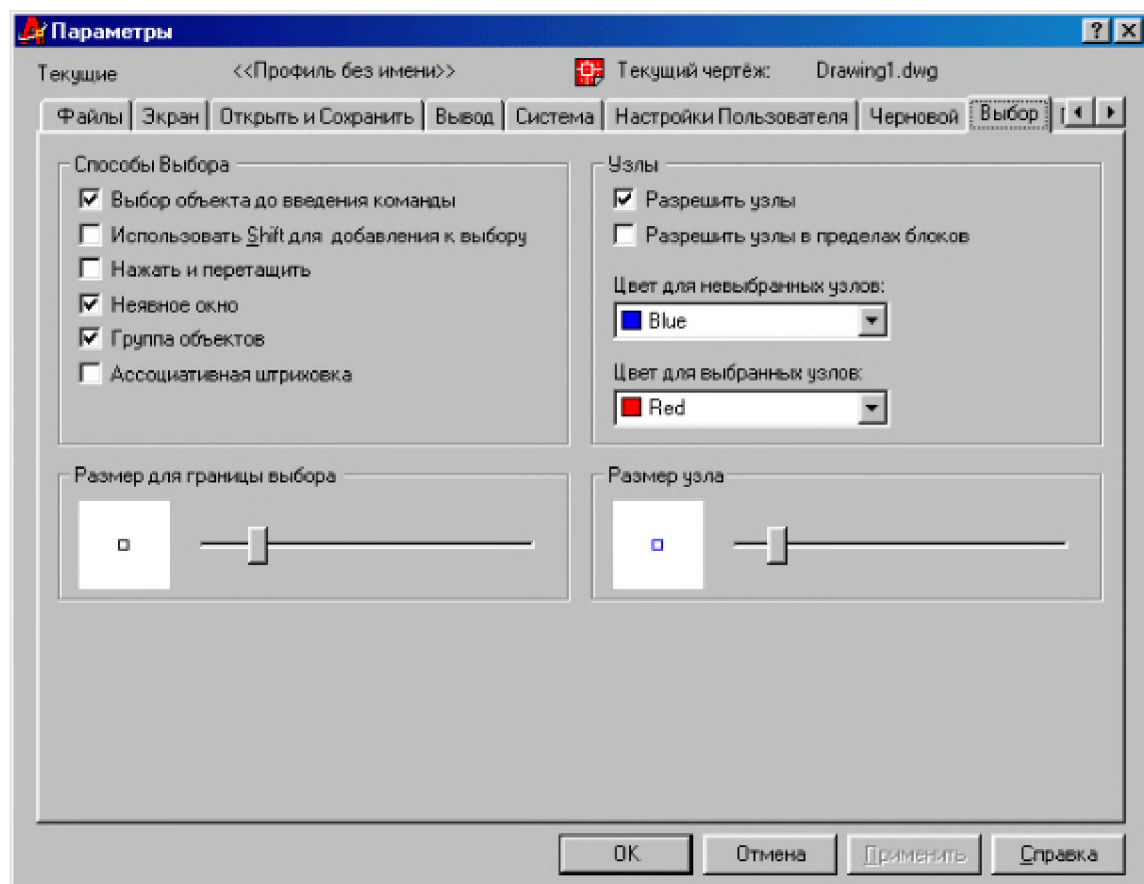


Рис. 3.2 Диалоговое окно **Options**(*Настройка*), вкладка **Selection**(*Выбор*)

Ручки используются также для предварительного выбора объектов при таких операциях общего редактирования, как стирание, копирование, перенос и т. п. Если объекты предварительно не были выбраны, то тогда команды редактирования будут выдавать запрос на выбор объектов. Выбранные объекты образуют так называемый – **набор**, т. е. подмножество объектов рисунка. Набор может как пополняться другими объектами, так и исключать объекты из своего состава.

#### **4. Последовательность выполнения работы**

- 1. Изучите теоретические сведения о команде редактирования свойств объектов чертежа.**
- 2. Опробовать действия с диалоговым окном PROPERTIES и его перечнем доступных параметров.**
- 3. Теоретически ознакомьтесь с диалоговым окном Quick Select.**
- 4. Практически опробуйте команды редактирования действий команд.**
- 5. Практически изучите редактирование с помощью ручек.**
- 6. Получите индивидуальное задание от преподавателя и выполните его.**
- 7. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.**

#### **5. Контрольные вопросы**

- 1. Поясните назначение команды и диалогового окна PROPERTIES.**
- 2. Поясните назначение команды и диалогового окна Quick Select.**
- 3. Поясните назначение команд редактирования действий команд.**
- 4. Что такое ручка?**
- 5. Как осуществить настройку параметров ручек?**
- 6. Поясните назначение запросов команды редактирования объекта (объектов) с помощью ручек.**

# Лабораторная работа №10

## Нанесение и редактирование штриховки. Создание размерного стиля

### 1 Общие положения

**Цель работы:** Получить навыки выполнения и редактирования штриховки и создания размерного стиля для оформления чертежа в системе AutoCAD.

### 2 Выполнение штриховки

**Команда BHATCH** – используется для нанесения штриховок на чертежах. Вызов команды через командную строку вводом команды: **BHATCH (BH)** или может быть вызвана с помощью кнопки **Hatch** (рис. 2.1) панели инструментов **Draw** или пункта **Hatch** падающего меню **Draw**.



Рис. 2.1 Кнопка команды Hatch

Команда открывает диалоговое окно **Boundary Hatch** (рис. 3.2), с помощью которого можно выполнить штриховку замкнутых областей, ограниченных линиями, дугами, окружностями, эллипсами, сплайнами, блоками и полилиниями. Окно содержит шесть кнопок, панель **Composition** и две вкладки, **Quick** и **Advanced**: первая имеет средства для автоматического определения контура штриховки и дает возможность ее предварительного просмотра; вторая позволяет управлять методом определения границ и дополнительными параметрами штриховки.

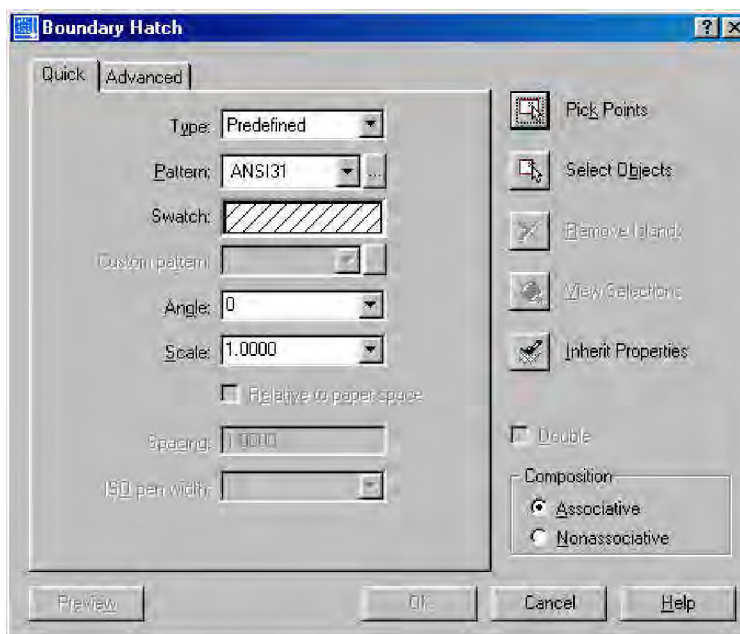


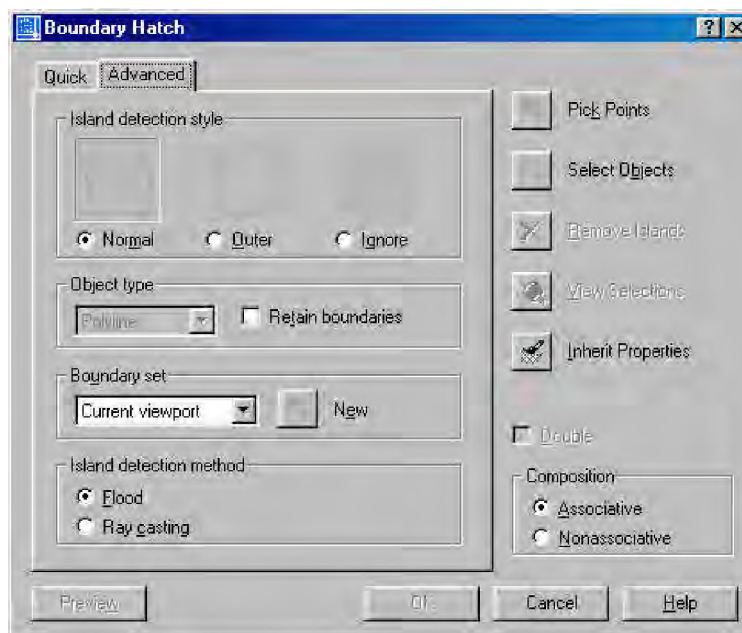
Рис. 2.2. Ввод и редактирование параметров штриховки

Вкладка **Quick** (рис. 2.2) содержит шесть раскрывающихся списков, область просмотра выбранного образца штриховки, поле ввода **Spacing** и кнопку-переключатель.

- **Type** – раскрывающийся список выбора типа образца штриховки:
  - **Predefined** – существующий стандартный образец;
  - **User defined** – пользовательский образец;
  - **Custom** – существующий пользовательский образец.

- **Pattern** – раскрывающийся список выбора стандартного образца штриховки.
- **Swatch** – область просмотра образца штриховки.
- **Custom Pattern** – раскрывающийся список выбора существующего пользовательского образца штриховки.
- **Angle** – раскрывающийся список выбора угла наклона образца штриховки.
- **Scale** – раскрывающийся список выбора масштаба штриховки.
- **Spacing** – поле ввода числового значения расстояния между линиями штриховки.
- **ISO pen width** – раскрывающийся список выбора толщины пера для образцов штриховки стандарта /50.
- **Relative to Paper Space** – флажок, позволяющий включать или выключать режим масштабирования штриховки относительно единиц измерения пространства листа.

Вкладка **Advanced** (рис. 2.3) обеспечивает настройку дополнительных параметров штриховки и содержит четыре панели.



*Рис. 2.3. Настройка дополнительных параметров штриховки*

Панель **Island Detection Style** содержит три кнопки выбора.

- **Normal** – устанавливает стиль штриховки, при котором режим штриховки изменяется при пересечении внутренних границ (используется по умолчанию).
- **Outer** – устанавливает стиль штриховки, при котором выполняется штриховка только внешней замкнутой области.
- **Ignore** – устанавливает стиль штриховки, при котором выполняется штриховка всей области внутри контура (внутренние границы игнорируются).

Панель **Object Type** содержит раскрывающийся список, который позволяет указать, в каком виде сохранять границу штриховки: как полилинию или как область. Кроме того, в этом поле размещена кнопка-переключатель **Retain Boundaries**.

- **Retain Boundaries** — разрешает режим сохранения границ штриховки.

Панель **Boundary Set** содержит раскрывающийся список, который определяет набор объектов для задания штрихуемой области. Кроме того, на этой панели размещена

кнопка **New**, с помощью которой пользователю предоставляется возможность явно выбрать объекты, определяющие границы штрихуемой области.

Панель **Island Detection Method** управляет методом поиска границ внутри выделенной области и содержит две кнопки выбора.

- **Float** — включать изолированные участки как граничные объекты.
- **Ray Casting** — исключать изолированные участки.

Кнопки диалогового окна **Boundary Hatch**:

- Кнопка **Pick Points** обеспечивает автоматическое определение границы области штрихования. Если нажать эту кнопку после выбора образца штриховки и его установок, то система выдает следующий запрос в командной строке:

- **Select internal point:**

- *Укажите точку внутри области, которая должна быть заштрихована:*

Возможные ответы:

- любым известным способом укажите координаты требуемой точки.

Следующий запрос системы:

- **Selecting everything...**

- *Выбираю все...*

- **Selecting everything visible...**

- *Выбираю все, что вижу ...*

- **Analyzing the selected data...**

- *Анализирую выбранные данные...*

- **Analyzing internal islands...**

- *Анализирую внутренние изолированные участки...*

Выполнив необходимые расчеты, система вновь выдает запрос:

- **Select internal point:**

- *Укажите точку внутри области, которая должна быть заштрихована:*

Возможные ответы:

- следует указать следующую точку или нажать клавишу **ENTER** для завершения выбора.

- Кнопка **Select Object** — обеспечивает выбор объектов, которые определяют область штрихования. Для выбора объектов можно использовать все известные пользователю способы. Завершение процесса выбора происходит при нажатии клавиши **ENTER**.
- **Remove Islands** — обеспечивает возможность удаления любого изолированного участка внутри области штрихования. Удалить внешнюю границу области штрихования нельзя.
- **View Selections** — обеспечивает просмотр и проверку всех отобранных областей штрихования.
- **Inherit Properties** — используется для копирования свойств существующей штриховки и применения ее к текущему образцу.
- **Double** — используется для выполнения штриховки крест-накрест.
- **Preview** — обеспечивает предварительный просмотр штриховки.

Панель **Composition** содержит две кнопки выбора: **Associative** и **Noassociative**, которые позволяют создавать ассоциативную (автоматически корректируемую для заполнения модифицированных контуров) или не ассоциативную штриховки.



**Замечания:** – Если внутри области штрихования имеется текст, то он не будет заштрихован. Рекомендуется всегда использовать предлагаемую по умолчанию ассоциативную штриховку. Продолжительность работы программы AutoCAD по обнаружению границ областей существенно зависит от сложности чертежа. Рекомендуется отключать не нужные для определения границ штриховки слои и выводить на экран монитора изображение чертежа по частям. Штриховка с именем *Solid*, которая является не штриховкой в прямом смысле слова, а заливкой.

### 3 Редактирование штриховки

**Команда HATCHEDIT** – обеспечивает редактирование существующей ассоциативной штриховки. Вызов команды через командную строку вводом команды: **HATCHEDIT (HE)** или может быть вызвана с помощью кнопки **Hatch** (рис. 3.1) панели инструментов **ModifyII** или подпункта **Hatch...** пункта **Object** падающего меню **Modify**.



Рис. 3.1 Кнопка команды HATCHEDIT

Команда **HATCHEDIT** открывает диалоговое окно **Hatch Edit**, которое в точности повторяет уже рассмотренное в главе 2 диалоговое окно **Boundary Hatch**, однако в них разный перечень доступных для редактирования параметров. С помощью этого диалогового окна можно изменять параметры штриховки областей, указанных на чертеже.

Кроме того, заштрихованные области чертежа можно модифицировать, используя диалог с командой **-HATCHEDIT**. Таким образом, пользователь имеет возможность выбора средства редактирования штриховки. Вызов команды через командную строку вводом команды – **HATCHEDIT**

Первый запрос системы в ответ на команду:

- **Select associative hatch object:**
- *Укажите ассоциативную штриховку:*

Возможный ответ

- укажите любым известным способом область штриховки, которую намерены редактировать (разрешен выбор только одной области).

Второй запрос системы:

- **Enter hatch option [Disassociate/Style/Properties] <Properties>:**
- *Введите параметр штриховки <параметр по умолчанию>:*

**Ответ на запрос системы по умолчанию:**

- нажмите клавишу **ENTER**.

Третий запрос системы:

- **Enter a pattern name or [?/Solid/User defined] <ANSI31>:**
- *Введите имя образца или <параметр по умолчанию>:*

Возможные ответы на запрос системы по умолчанию:

- нажмите клавишу **ENTER**, если не нужно изменять образец штриховки;
- задайте новое имя образца штриховки.

Следующий запрос системы:

- **Specify a scale for the pattern <1.0000>:**
- *Задайте масштаб для образца штриховки <значение по умолчанию>:*



Возможные ответы:

- нажмите клавишу ENTER, если не нужно изменять масштаб образца штриховки;
- задайте новый масштаб образца штриховки.

Следующий запрос системы:

- **Specify an angle for the pattern <45>:**
- *Задайте угол наклона образца штриховки к горизонтали в градусах <значение по умолчанию>:*

Возможные ответы:

- нажмите клавишу ENTER, если не нужно изменять угол наклона образца штриховки;
- задайте новый угол наклона образца штриховки.

Иные возможные ответы на третий запрос системы:

- **?** – если необходимо просмотреть список существующих образцов штриховок, при этом система инициирует следующий дополнительный запрос:
  - **Enter pattern(s) to list <\*>:**
  - *Введите имена образцов <параметр по умолчанию>:*
- **S** – если необходимо заменить штриховку на заливку области штриховки.
- **U** – используется, если необходимо заменить образец штриховки на штриховку, параметры которой определяются пользователем, при этом система инициирует следующую последовательность запросов:
  - **Specify angle for crosshatch lines <45>:**
  - *Задайте угол наклона линий штриховки к горизонтали в градусах <значение по умолчанию>:*
  - **Specify spacing between the lines <3.0000>:**
  - *Задайте расстояние между линиями штриховки <значение по умолчанию>:*
  - **Double hatch area? [Yes/No] <N>:**
  - *Штриховать крест-накрест?*

Иные возможные ответы на второй запрос системы:

- **S** – используется, если необходимо изменить стиль штриховки; при этом система инициирует следующий запрос:
  - **Enter hatching style [Ignore/Outer/Normal] <Normal>:**
  - *Введите стиль штриховки <параметр по умолчанию>:*
- **N** – указывает, что требуется штриховать с учетом внутренних границ.
- **I** – указывает, что внутренние границы игнорируются.
- **O** – указывает, что требуется штриховать только внешнюю область.
- **D** – используется, если необходимо отказаться от ассоциативной штриховки, при этом после выполнения команды система выдает следующее сообщение:
  - **Hatch boundary associativity removed.**
  - *Удалена ассоциативность контура области штрихования.*

**Замечания:** – Выбрать область штриховки можно как после, так и до выдачи команды. При растягивании или перемещении граничных объектов области ассоциативной штриховки она автоматически корректируется для заполнения нового контура. При удалении любого из граничных объектов штриховка теряет свойство ассоциативности. Расчленение штриховки командой EXPLODE приводит к потере ассоциативности, что позволяет редактировать отдельные линии штриховки.

### 3 Размерные стили

**Команда DIMSTYLE** – обеспечивает работу с размерными стилями. Вызов команды через командную строку вводом команды: **DIMSTYLE** или может быть вызвана с помощью кнопки **Dimension Style** (рис. 3.1) панели инструментов **Dimension** или пункта **Dimension Style** падающего меню **Format**.



Рис. 3.1 Кнопка команды **Dimension Style**

Все размерные стили имеют имена. Список стилей, имеющихся в текущем рисунке, содержится в плавающей панели **Размеры** (Dimension) (см. рис. 3.82). В данном рисунке это стиль ISO-25.

Если вы создаете новый рисунок с помощью простейшего шаблона (см. разд. 1.3), то в рисунке будет лишь один размерный стиль с именем ISO-25.

В разд. 10.6 рассказано, как при использовании стандартных шаблонов системы AutoCAD можно создавать новые рисунки с уже готовыми размерными стилями Standard (ANSI), DIN, JIS и различными видами стилей ISO. С помощью Центра управления AutoCAD (см. приложение 3) можно импортировать размерные стили из других рисунков.

Команда P3 МСТИЛ Б (DIMSTYLE) открывает диалоговое окно **Диспетчер размерных стилей** (Dimension Style Manager) (рис. 5.5).

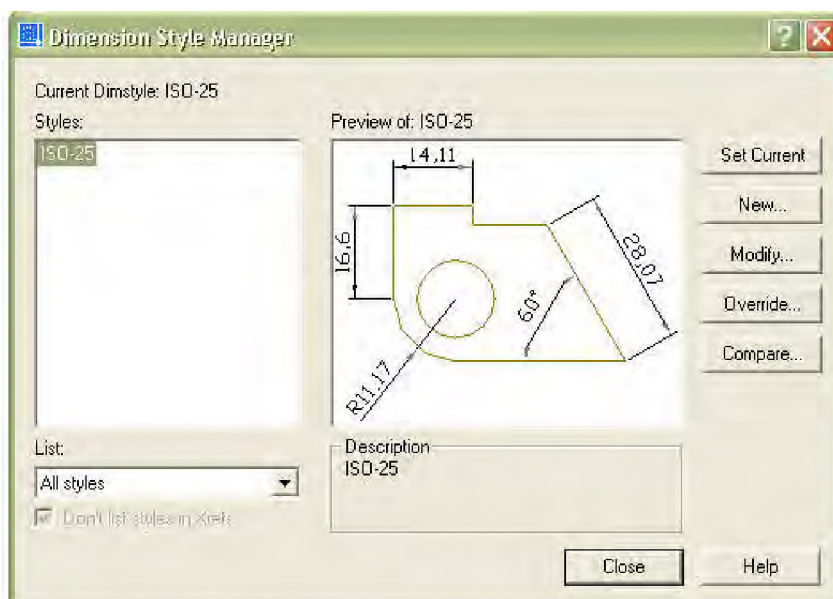


Рис. 5.5. Диалоговое окно **Dimension Style Manager**

Строка **Текущий размерный стиль:** (Current Dimstyle:) показывает имя того размерного стиля, который является активным (текущим) — им выполняется оформление размеров в рисунке в данный момент. Перечень стилей отображается в левом поле **Стили:** (Styles:). Ниже перечня находится раскрывающийся список фильтра стилей **Вывести в список:** (List:). В нем можно выбрать опции **Все стили** (All styles) или **Задействованные стили** (Styles in use). Флажок **Исключить стили Вн-ссылок** (Don't list styles in Xrefs) позволяет не включать в перечень стили, порожденные вставкой в рисунок внешних ссылок (о внешних ссылках см. разд. 7.2).

В центральной части диалогового окна поле просмотра **Образец стиля:**

(Preview of:) показывает внешний вид размеров, создаваемых данным стилем. Ниже, в поле **Описание** (Description), приводится комментарий к действующему стилю.

В правой части окна находятся следующие кнопки:

- **Установить** (Set Current) **Новый...** (New...)
- **Изменить...** (Modify...)
- **Переопределить...** (Override...)
- **Сравнить...** (Compare...)

Если вы хотите выбрать новый текущий стиль из числа имеющихся в рисунке, то отметьте его в перечне **Стили:** (Styles:) и затем нажмите на кнопку **Установить** (Set Current). Имя прежнего текущего слоя изменится на новое.

Чтобы создать новый стиль, следует нажать на кнопку **Новый...** (New...). В этом случае появится диалоговое окно **Создание нового размерного стиля** (Create New Dimension Style) (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Диалоговое окно **Create New Dimension Style**

В этом окне в поле **Имя нового стиля:** (New Style Name:) нужно ввести имя нового стиля. Если текущим стилем был стиль ISO-25, то в качестве имени по умолчанию предлагается **Копия ISO-25** (Copy of ISO-25). Если вы хотите большую часть установок взять не из текущего стиля, а из другого имеющегося в рисунке, вы должны открыть раскрывающийся список **На основе:**

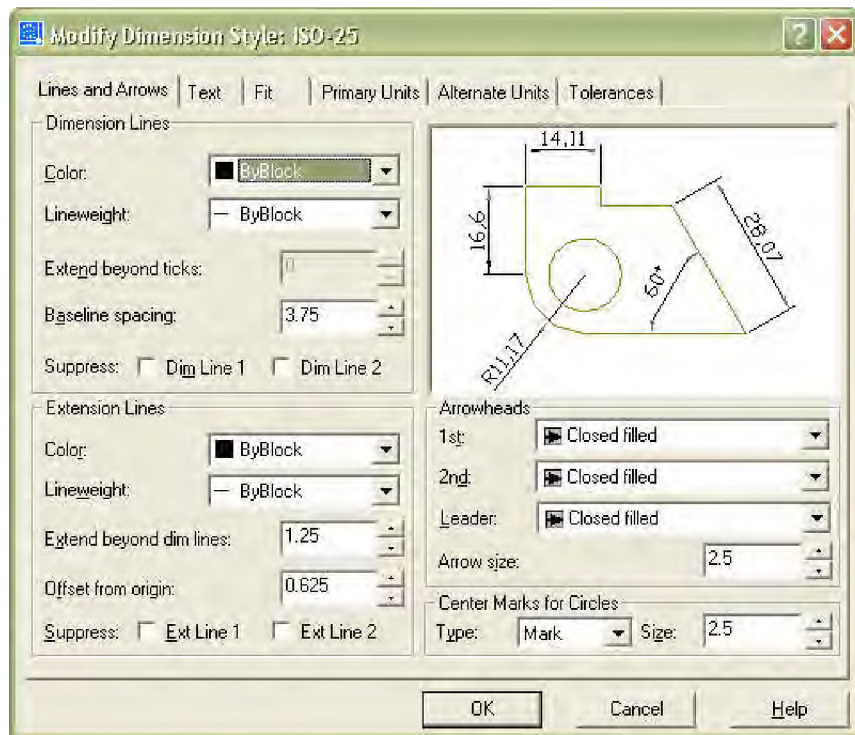
(Start With:) и выбрать имя базового стиля.

Новый стиль является самостоятельным и действительно новым только в том случае, если в раскрывающемся списке **Размеры:** (Use for:) выбрана опция **Все размеры** (All dimensions). Если выбрать одну из других опций: **Линейные размеры** (Linear dimensions), **Угловые размеры** (Angular dimensions), **Радиусы** (Radius dimensions), **Диаметры** (Diameter dimensions), **Ординатные размеры** (Ordinate dimensions) или **Выноски и допуски** (Leaders and Tolerances), то это будет означать, что вы не хотите создавать новый стиль, а хотите сделать несколько переопределений текущего стиля в группе параметров, определенных этой выбранной опцией. Тогда поле с именем нового стиля гаснет и становится недоступным.

После задания в диалоговом окне **Создание нового размерного стиля** (Create New Dimension Style) всех необходимых установок нужно нажать на кнопку **Далее** (Continue). Вслед за этим появится диалоговое окно **Новый размерный стиль:** (New Dimension Style:), имеющее шесть вкладок. Как правило, сразу активизируется вкладка **Линии и стрелки** (Lines and Arrows) (рис. 5.7).

Рассмотрим параметры простановки размеров, собранные в этой вкладке. Поле **Размерные линии** (Dimension Lines) содержит следующие установки построения размерных линий:

- **Цвет:** (Color:)
- **Вес линии:** (Lineweight:)
- **Удлинение за выносные:** (Extend beyond ticks:)
- **Шаг в базовых размерах:** (Baseline spacing:)
- **Подавить 1-ю (2-ю) размерную** (Suppress Dim Line 1 (2))



**Рис. 5.7.** Диалоговое окно **Новый размерный стиль**, вкладка **Линии и стрелки**

Назначение параметров соответствует их наименованию. Для цвета и веса размерных линий может быть использовано специальное значение **Поблоку** (ByBlock), которое при простановке размеров принимает текущее значение цвета и веса линии рисунка.

Поле **Выносные линии** (Extension Lines) содержит похожие установки, но уже для выносных линий:

- **Цвет:** (Color:)
- **Вес линии:** (Lineweight:)
- **Удлинение за размерные:** (Extend beyond dim lines:)
- **Отступ от объекта:** (Offset from origin:)
- **Подавить 1-ю (2-ю) выносную** (Suppress Ext Line 1 (2))

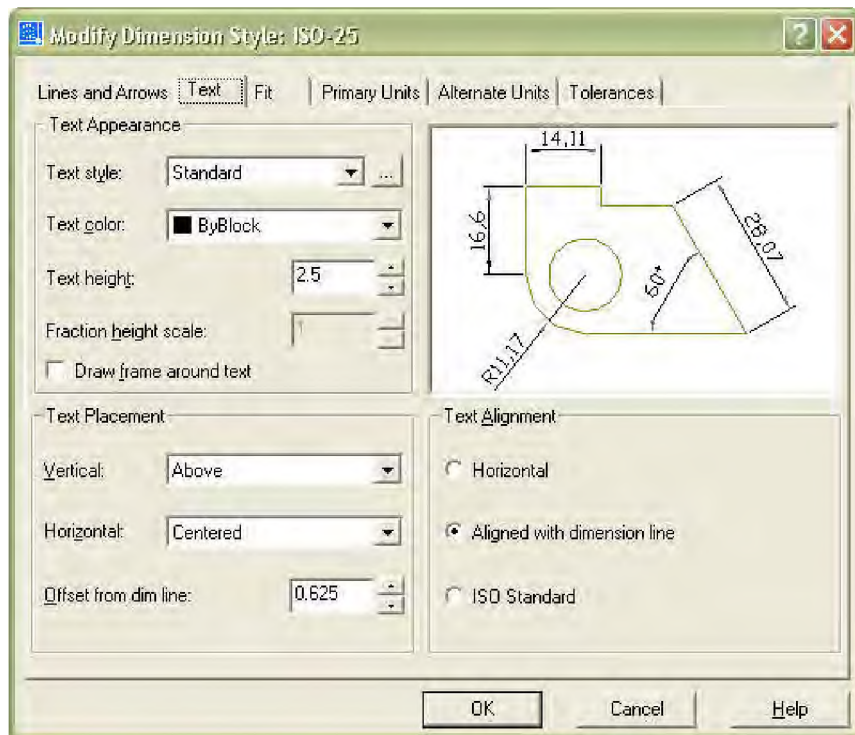
Поле **Стрелки** (Arrowheads) содержит соответствующие поля установок формы стрелок размерных линий и выноски, а также поле, определяющее величину стрелок:

- **1-я:** (1st:)
- **2-я:** (2nd:)
- **Выноска:** (Leader:)
- **Величина:** (Arrow size:)

Поле **Маркеры центра для кругов** (Center Marks for Circles) определяет тип маркера центра и осевых линий окружностей и дуг, а также размер маркера и выступа осевых линий за окружность. Это поле состоит из следующих двух полей:

- **Тип:** (Type:)
- **Размер:** (Size:)

Вкладка — **Текст** (Text) (рис. 5.8) — диалогового окна **Новый размерный стиль:** (New Dimension Style:) описывает установки размерного текста.



**Рис. 5.8.** Диалоговое окно **Новый размерный стиль**, вкладка **Текст**

Поле **Свойства текста** (Text Appearance) содержит следующие поля установок:

- **Текстовый стиль:** (Text style:) — определяет стиль размерного текста;
- **Цвет текста:** (Text color:) — определяет цвет размерного текста;
- **Высота текста:** (Text height:) — задает высоту символов;
- **Масштаб дробей:** (Fraction height scale:) — задает масштаб символов дробей.

Кроме того, это поле содержит флажок **Текст в рамке** (Draw frame around text), установка которого задает рамку вокруг размерного текста.

Поле **Выравнивание текста** (Text Placement) определяет положение размерного текста относительно размерной линии: **По вертикали:** (Vertical:) и **По горизонтали:** (Horizontal:), а также задает его **Отступ от размерной** (Offset from dim line).

Поле **Ориентация текста** (Text Alignment) содержит три переключателя, задающих один из вариантов ориентации размерного текста: **Горизонтально** (Horizontal), **Вдоль размерной линии** (Aligned with dimension line) и **Согласно ISO** (ISO standard).

Вкладка **Размещение** (Fit) (рис. 5.9) определяет варианты оформления размеров в случаях, когда текст и стрелки не помещаются между выносными линиями.



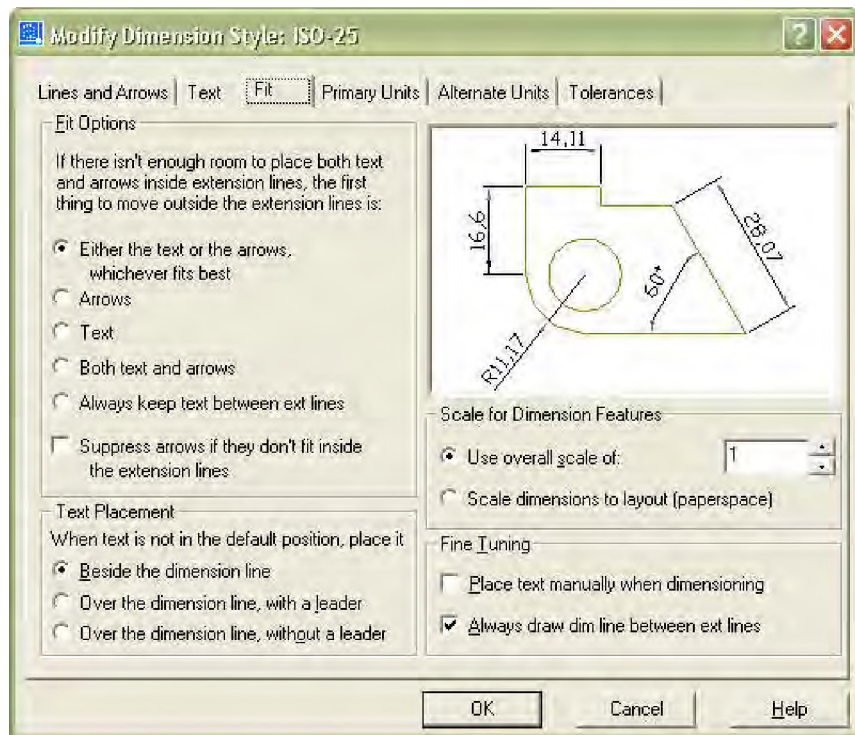


Рис. 5.9. Диалоговое окно **Новый размерный стиль**, вкладка **Размещение**

Поле **Опции размещения** (Fit Options) содержит текст **"Если текст и стрелки одновременно не могут быть размещены между выносными линиями, размещать их за пределами:"** ("If there isn't enough room to place both text and arrows inside extension lines, the first thing to move outside the extension line is:") и соответствующие переключатели:

- **Либо текст, либо стрелки (оптимальное размещение)** (Either the text or the arrows, whichever fits best)
- **Стрелки** (Arrows)
- **Текст** (Text)
- **Текст и стрелки** (Both text and arrows) .
- **Текст всегда между выносными** (Always keep text between ext lines)

В этом поле имеется также флажок **Подавить стрелки, если они не помещаются между выносными** (Suppress arrows if they don't fit inside the extension lines).

Поле **Размещение текста** (Text Placement) содержит текст **"При перемещении текста с позиции по умолчанию"** ("When text is not in the default position, place it") и варианты выбора с помощью трех переключателей:

- **Перемещать размерную линию** (Beside the dimension line)
- **Строить выноску** (Over the dimension line, with a leader)
- **Не строить выноску** (Over the dimension line, without a leader)

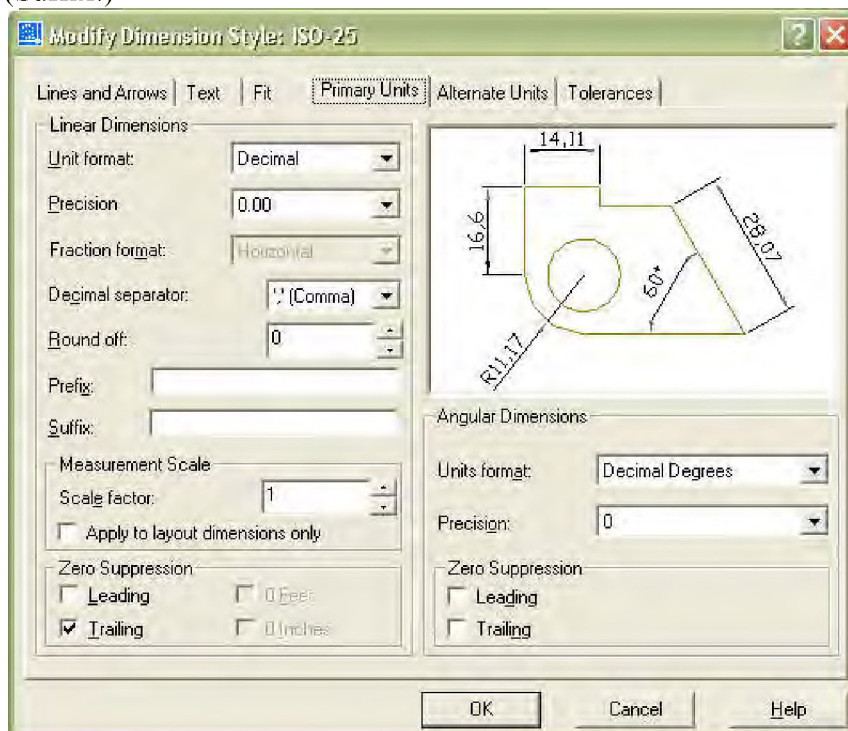
Знакомое нам уже по разд. 3.6 поле **Масштаб размерных элементов** (Scale for Dimension Features) содержит два переключателя; **Глобальный масштаб:** (Use overall scale of), влияющий на все элементы оформления размеров, и соответствующее ему поле, которое определяет этот масштаб, а в качестве альтернативы используется переключатель **Масштаб относительно листа** (Scale dimensions to layout (paperspace)), который масштабирует размеры относительно пространства листа. *О пространстве листа см. гл. 10.*

Последнее поле вкладки **Размещение** (Fit) с названием **Подгонка элементов** (Fine Tuning) содержит два флажка: **Размещение размерного текста вручную** (Place text manually when dimensioning) и **Размерная линия всегда между выносными** (Always draw dim line between ext lines).

Вкладка **Основные единицы** (Primary Units) (рис. 5.10) определяет параметры настройки единиц размерных чисел.

Поле **Линейные размеры** (Linear Dimensions) включает в себя следующие поля характеристик:

- **Формат единиц:** (Unit format:)
- **Точность** (Precision)
- **Формат дробей:** (Fraction format:)
- **Десятичный разделитель:** (Decimal separator:)
- **Округление:** (Round off:)
- **Префикс:** (Prefix:)
- **Суффикс:** (Suffix:)



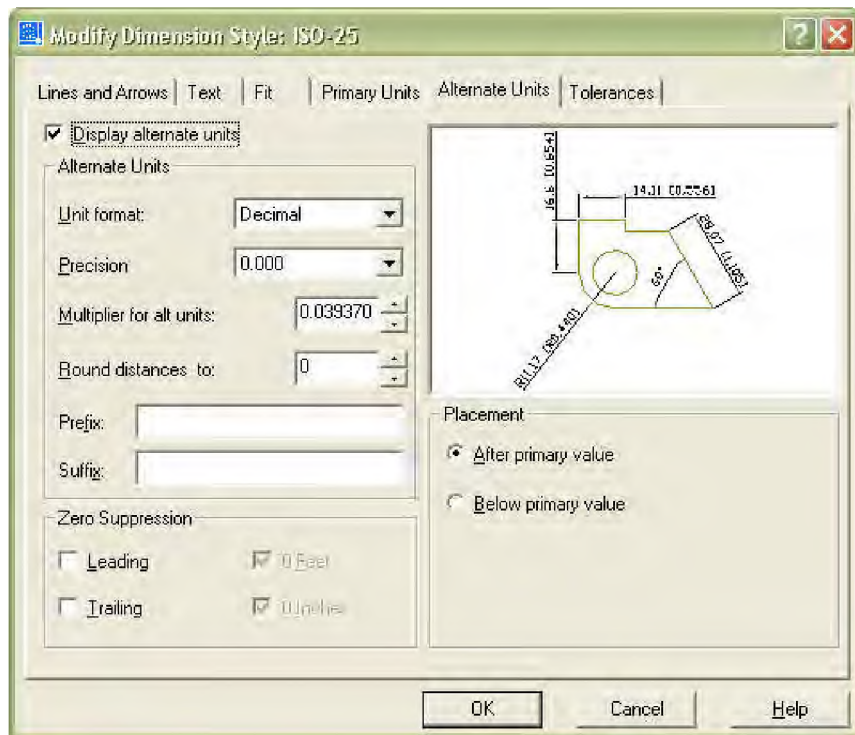
**Рис. 5.10.** Диалоговое окно **Новый размерный стиль**, вкладка **Основные единицы**

Внутри поля **Линейные размеры** (Linear Dimensions), кроме того, находятся еще два поля. Первое из внутренних полей **Масштаб измерений** (Measurement Scale) содержит масштабный множитель **Масштаб:** (Scale factor:), на который умножаются все линейные размеры. Этот множитель применяется только к пространству листа, если установлен соответствующий флажок **Только для размеров на листе** (Apply to layout dimensions only).

Другое внутреннее поле **Подавление нулей** (Zero Suppression) с помощью установки соответствующих флажков позволяет управлять подавлением ведущих или хвостовых нулей, а также выводом нулей в 0 футов и 0 дюймов:

- **Ведущие** (Leading)
- **Хвостовые** (Trailing)
- **0 футов** (0 Feet)
- **0 дюймов** (0 Inches)

Поле **Угловые размеры** (Angular Dimensions) настраивает формат и точность угловых размеров. Здесь тоже есть возможность подавления ведущих и хвостовых нулей. Следующая вкладка называется **Альт. единицы** (Alternate Units) (рис. 5.11).



**Рис. 5.11.** Диалоговое окно **Новый размерный стиль**, вкладка **Альт. единицы**

Она содержит установки, если размеры проставляются сразу в основных и альтернативных единицах — например, помимо миллиметров нужны еще и дюймы. Поля этой вкладки доступны только в том случае, если установлен флажок **Разрешить альтернативные единицы** (Display alternate units).

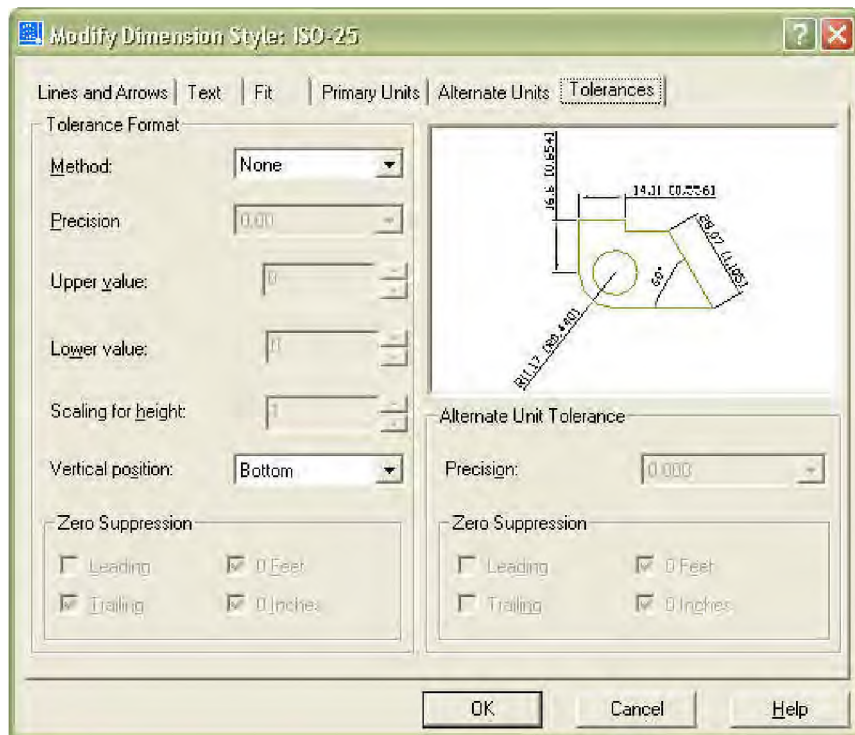
Поле **Альтернативные единицы** (Alternate Units) управляет форматом и точностью, коэффициентом пересчета, округлением линейных размеров, префиксом и суффиксом альтернативных единиц. Для этого оно содержит соответствующие поля установок:

- **Формат единиц:** (Unit format:)
- **Точность** (Precision)
- **Коэффициент пересчета:** (Multiplier for alt units:)
- **Округление** (Round distances to)
- **Префикс:** (Prefix:)
- **Суффикс:** (Suffix:)

Поле **Подавление нулей** (Zero Suppression) полностью соответствует аналогичному полю для вкладки **Основные единицы** (Primary Units) (см. рис. 5.10). Поле **Размещение** (Placement) с помощью двух переключателей позволяет располагать альтернативные размерные единицы **За основным значением** (After primary value) или **Под основным значением** (Below primary value).

Вкладка **Допуски** (Tolerances) (рис. 5.1-2) определяет форму простановки допусков в размерах.





**Рис. 5.12.** Диалоговое окно **Новый размерный стиль, вкладка Допуски**

Поле **Формат допусков** (Tolerance Format) содержит такие параметры управления допусками:

- **Способ:** (Method:) — определяет способ задания допусков;
- **Точность:** (Precision:) — задает точность (количество десятичных знаков) для допуска;
- **Максимальное значение:** (Upper value:) — определяет предельное значение допуска в большую сторону;
- **Минимальное значение:** (Lower value:) — определяет предельное значение допуска в меньшую сторону;
- **Масштаб высоты:** (Scaling for height:) — устанавливает масштаб высоты текста для отклонения;
- **Выравнивание:** (Vertical position:) — управляет выравниванием текстов отклонений.

Кроме того, внутреннее поле **Подавление нулей** (Zero Suppression) управляет подавлением ведущих и хвостовых нулей.

Параметр поля **Способ:** (Method:) может принимать такие значения:

- **Нет** (None) — без показа допуска;
- **Симметрично** (Symmetrical) — допуск с одинаковыми предельными отклонениями в обе стороны (его значение вводится в поле **Максимальное значение:** (Upper value:), при выводе содержит символ "±").
- **Отклонения** (Deviation) — различные значения отклонений, выводятся отдельно;
- **Предельные размеры** (Limits) — вывод двух предельных размеров, больший располагается над меньшим;
- **Номинальный** (Basic) — размерный текст принимает форму номинального размера, который заключается в рамку.

После изменения значения параметра в поле **Способ:** (Method:) система AutoCAD соответственно изменяет в окне просмотра иллюстрирующий рисунок, на котором видна устанавливаемая форма размерного примитива.

Если в качестве способа выбран вариант **Симметрично** (Symmetrically), то параметр **Минимальное значение:** (Lower value:) не используется.

Параметр поля **Выравнивание:** (Vertical position:) может принимать следующие значения:

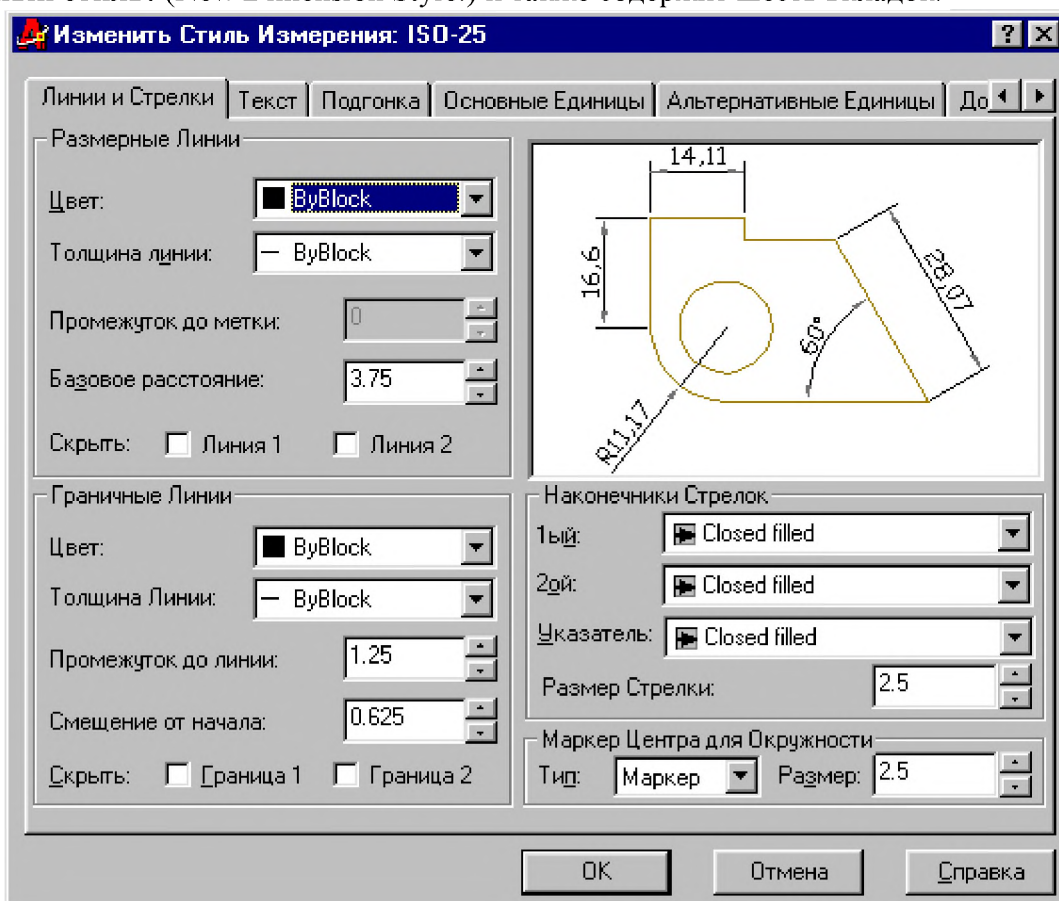
- **Вверх** (Top) — выравнивание отклонения и номинального размера по верху;
- **Посередине** (Middle) — выравнивание посередине размерного текста;
- **Вниз** (Bottom) — выравнивание по низу.

Поле **Допуски для альтернативных единиц** (Alternate Unit Tolerance) управляет точностью с помощью поля **Точность:** (Precision) и подавлением нулей с помощью флажков поля **Подавление нулей** (Zero Suppression) только в том случае, если используются альтернативные единицы.

После назначения всех установок нового стиля следует закрыть все вкладки нажатием кнопки ОК (OK), а диалоговое окно **Новый размерный стиль:**

(New Dimension Style:) — нажатием кнопки **Закрыть** (Close).

Кнопка **Изменить...** (Modify...) диалогового окна **Диспетчер размерных стилей** (Dimension Style Manager) (см. рис. 5.5) позволяет внести и сохранить изменения в существующий размерный стиль. Она вызывает диалоговое окно **Изменение размерного стиля:** (Modify Dimension Style:) (рис. 5.13), которое полностью аналогично окну **Новый размерный стиль:** (New Dimension Style:) и также содержит шесть вкладок.



**Рис. 5.13.** Диалоговое окно **Изменение размерного стиля**

Операции с данным диалоговым окном такие же, как и с диалоговым окном **Новый размерный стиль:** (New Dimension Style:), рассмотренные выше.

Аналогично кнопке **Изменить...** (Modify...) диалогового окна **Диспетчер размерных стилей** (Dimension Style Manager) (см. рис. 5.5) работает и кнопка **Переопределить...** (Override...), которая открывает соответствующее диалоговое окно **Переопределение текущего стиля:** (Override Current Style:) (рис. 5.14). Работа этой кнопки рассматривалась в примере разд. 3.6. Все изменения отображаются в перечне стилей диалогового окна **Диспетчер размерных стилей** (Dimension Style Manager).

Кнопка **Сравнить...** (Compare...) диалогового окна **Диспетчер размерных стилей**

(Dimension Style Manager) (см. рис. 5.5) вызывает соответствующее диалоговое окно **Сравнение размерных стилей** (Compare Dimension Styles) (рис. 5.15).

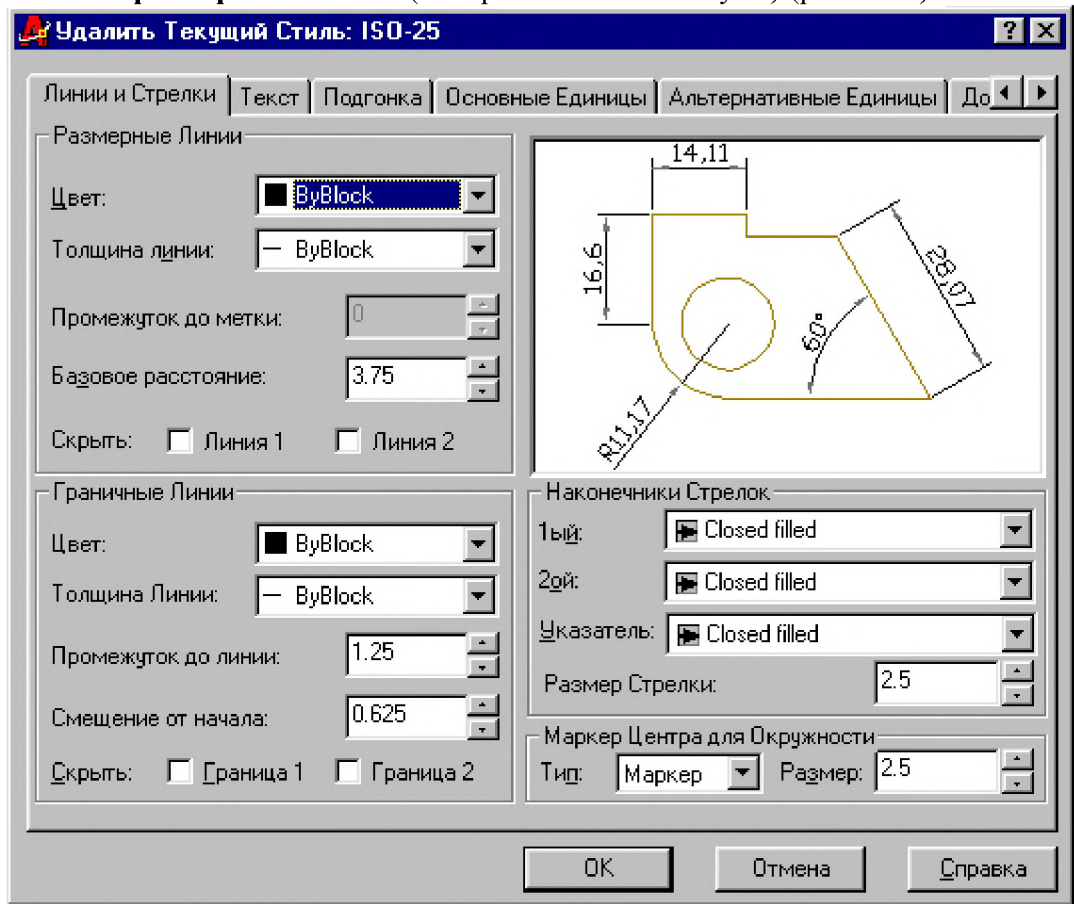


Рис. 5.14. Диалоговое окно Переопределение текущего стиля

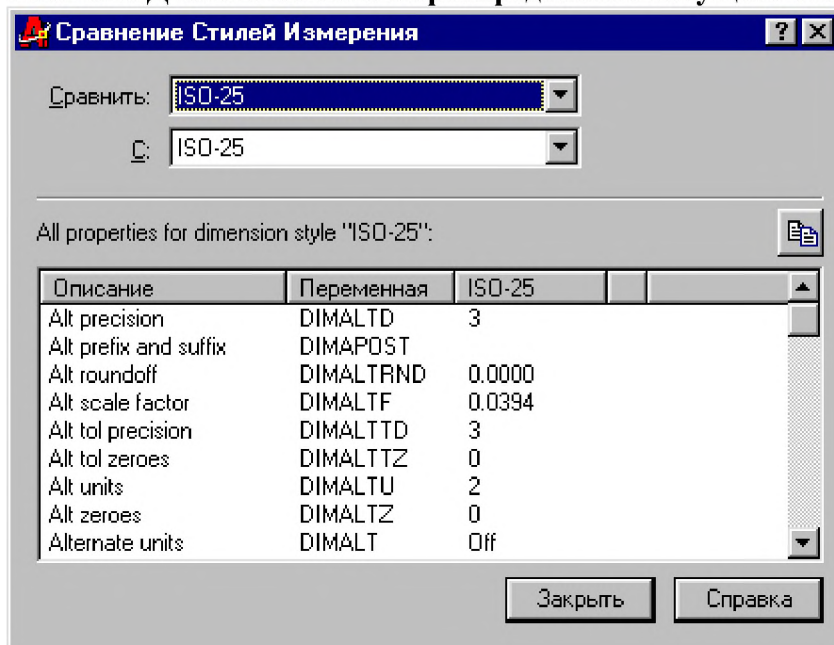


Рис. 5.15. Диалоговое окно Сравнение размерных стилей

В это окно выводятся отличающиеся значения размерных переменных, если в полях **Сравнить:** (Compare:) и **Со стилем:** (With:) установлены различные имена стилей. Если имена в обоих полях совпадают или в одном из них выбрана опция **<нет>** (<none>), то выводится полный перечень переменных и их значений.

Как уже было сказано в разд. 3.6, все установки записываются в размерные переменные рисунка, которым соответствуют системные переменные AutoCAD. В

русской версии системы AutoCAD имена размерных переменных отличаются от английских имен системных переменных. В то же время в английской версии нет специальных имен для размерных переменных, поскольку этой цели служат имена системных переменных.

В русской версии системы имена размерных переменных и их значения выводятся в центральную часть диалогового окна **Сравнение размерных стилей** (Compare Dimension Styles). В табл. 5.1 приведен полный перечень размерных переменных и соответствующих им системных переменных (в скобках), с описанием и значениями для четырех основных размерных стилей.

Изменение значения размерной переменной для переопределения текущего стиля может быть выполнено обычным образом — через диспетчер размерных стилей. Но самый быстрый способ — это изменить соответствующую системную переменную. Например, если вы хотите изменить глобальный масштаб оформления размеров, которому соответствуют размерная переменная РЗММАСШТ и системная переменная DIMSCALE, то вы в ответ на подсказку **Команда:** (Command:) можете ввести в командной строке **DIMSCALE**, что система AutoCAD воспринимает как команду изменения переменной с таким именем и запрашивает (при этом в угловых скобках выводится текущее значение):

***Новое значение DIMSCALE <1.0000>:***  
*(Enter new value for DIMSCALE <1.0000>:)*

#### **4. Последовательность выполнения работы**

- 1. Изучите основные приемы и команды редактирования чертежей.**
- 2. Вызвать задания выполненные в предыдущих лабораторных работах и приобрести навыки работы с каждой командой.**
- 3. Получите индивидуальное задание от преподавателя и выполните его.**
- 4. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.**

#### **5. Контрольные вопросы**

- 1. Поясните назначение команд общего редактирования.**
- 2. Какими способами можно произвести растягивание или сжатие объекта?**
- 3. Как произвести изменение длины открытых объектов и центральные углов дуг.**
- 4. Какие действия выполняет команда TRIM?**
- 5. Какие действия выполняет команда EXTEND?**
- 6. Как осуществить усечение двух пересекающихся отрезков, лучей, прямых или линейных сегментов полилинии — создать фаску?**
- 7. Как осуществить сопряжение дугой заданного радиуса отрезков, дуг, окружностей или линейных сегментов полилиний?**
- 8. Поясните назначение команды EXPLODE.**

# Лабораторная работа №11

## Нанесение и редактирование размеров.

### 1 Общие положения

**Цель работы:** Получить навыки выполнения и редактирования размеров для оформления чертежа в системе AutoCAD.

### 2 Выполнение и редактирование размеров



Рис. 3.1 Кнопка команды **Dimension Style**

#### 2.1 Команды нанесения размеров

Вычерчивание элементов размерного блока осуществляется только после ответа на все запросы системы и происходит в соответствии с заданными значениями и состоянием системных переменных.

##### Линейные размеры



##### Команда **DIMLINEAR**

##### Назначение:

Используется для определения размеров отрезков прямых линий и прямолинейных сегментов полилиний или блоков; команду можно применить для нанесения линейного размера окружности или дуги.

##### Вызов команды:

**Командная строка:** **DIMLINEAR (DLI)**

**Выпадающее меню:** **Dimension > Linear**

**Инструментальная панель:** **Dimension > Linear Dimension**

Первый запрос системы в ответ на команду:

Specify first extension line origin or <select object>:

Задайте точку начала первой выносной линии или <параметр по умолчанию>:

##### Ответ на запрос системы по умолчанию:

нажать клавишу **ENTER**, если необходимо нанести размеры к одному отдельному отрезку, дуге, окружности или сегменту полилинии. В этом случае система выдает дополнительный запрос:

Select object to dimension:

Выберите объект для нанесения размера:

и после указания объекта автоматически определяет начало выносных линий (выбор объекта осуществляют при помощи графического курсора).

##### Другой возможный ответ на первый запрос системы:

указать, пользуясь режимом объектной привязки, точку начала первой выносной линии на чертеже.

##### Второй запрос системы:

Specify second extension line origin:

Задайте точку начала второй выносной линии:

##### Ответ:

указать точку на чертеже, пользуясь режимом объектной привязки; этот запрос появляется в командной строке, если указана начальная точка первой выносной линии.

##### Третий запрос системы:

Specify dimension line location or [Mtext/Text/Angle/Horizontal/Vertical/



Rotated]:

Задайте местоположение размерной линии или ...:

**Возможные ответы:**

- указать графическим курсором на чертеже точку, через которую должна проходить размерная линия;
- ввести соответствующие относительные координаты, чтобы точно указать местоположение размерной линии.

Система заканчивает работу с командой, выдав сообщение о вычисленном размерном числе:

Dimension text = 22.5

Размерный текст = 22.5

Если на первый запрос системы указан объект, расположенный горизонтально, или заданы две точки, определяющие горизонтальную прямую, то программа AutoCAD 2002 воспринимает это как желание пользователя нанести размер с горизонтальной размерной линией. То же относится и к вертикальному объекту. При задании положения размерной линии для наклонного объекта, горизонтальное перемещение графического курсора между двумя его конечными точками определяет вертикальный размер, а вертикальное перемещение — горизонтальный.

Иные возможные ответы на третий запрос системы:

**М** используется, если необходимо изменить размерный текст; при этом система открывает диалоговое окно многострочного текстового редактора **Multiline Text Editor**, позволяя использовать весь набор его средств. Угловые скобки <> в окне обозначают размерное число, которое определил **AutoCAD**. Если необходимо сохранить измеренную длину объекта и присоединить к размерному числу поясняющий текст, то текстовая строка дополнений должна включать угловые скобки. В этом случае ассоциативная связь размера с объектом не нарушается. Для того чтобы добавить текст перед размерным числом, поместите курсор перед угловыми скобками. Чтобы добавить текст после размерного числа, поместите курсор после угловых скобок. Если удалить угловые скобки и напечатать собственное размерное число, то ассоциативная связь этого размера с объектом нарушается.

**T** используется, если необходимо изменить размерный текст, не обращая к редактору Multiline Text Editor. Чтобы добавить дополнительный текст перед размерным числом или после него, текст размещают перед угловыми скобками или после них. Для задания знака диаметра окружности следует ввести символьную последовательность %  
%s; знак градуса вычерчивается при вводе % %d, знак допуска «плюс-минус» требует ввода символов %%p.

**A** используется, если необходимо изменить угол наклона размерного числа или размерного текста; при этом система инициирует дополнительный запрос:

Specify angle of dimension text:

Задайте угол наклона размерного текста:

**H** используется, если необходимо вычерчивание линейного размера с горизонтальной размерной линией; при этом система инициирует дополнительный запрос:

Specify dimension line location or [Mtext/Text/Angle]:

Задайте местоположение размерной линии или ...:

**V** используется, если необходимо вычерчивание линейного размера с вертикальной размерной линией; при этом система инициирует дополнительный запрос:

Specify dimension line location or [Mtext/Text/Angle]:

Задайте местоположение размерной линии или ...:

**R** используется, если необходимо вычерчивание линейного размера с заданным углом наклона размерной линии; при этом система инициирует следующие дополнительные запросы:

Specify angle of dimension line <0>:

Задайте угол наклона размерной линии <значение по умолчанию>:  
Specify dimension line location or [Mtext /Text/Angle/Horizontal /Vertical/Rotated]:  
Задайте местоположение размерной линии или ...:

#### **Замечания**

1. *Размерный блок появляется на чертеже при запросе о положении размерной линии.*
2. *Для создания размерного блока предусмотрены два метода: метод двух точек и метод трех точек. Первый характеризуется точкой выбора объекта и точкой, определяющей положение размерной линии. Вторым — двумя точками, определяющими начало выносных линий, и точкой, определяющей положение размерной линии.*
3. *Для выбора точек начала выносных линий рекомендуется пользоваться режимами объектной привязки.*
4. *При автоматическом размещении выносных линий вторая выносная линия находится дальше от точки, которая использовалась при выборе объекта.*
5. *Если выносные линии размерного блока определяются автоматически, то для дуги и отрезка началом выносных линий служат конечные точки указанных примитивов, а для окружности ориентацию линии диаметра определяет текущий угол поворота размерной линии.*
6. *При использовании команды нанесения линейных размеров для определения диаметра окружности не забывайте присоединять к размерному числу символьную последовательность %%c для задания знака диаметра.*



#### **Команда DIMALIGNED**

##### **Назначение:**

Позволяет вычерчивать линейный размер, размерная линия которого параллельна отрезку, проведенному через начальные точки выносных линий.

##### **Вызов команды:**

**Командная строка:** DIMALIGNED (DAL)

**Выпадающее меню:** Dimension > Aligned

**Инструментальная панель:** Dimension > Aligned Dimension

Первый запрос системы в ответ на команду:

Specify first extension line origin or <select object>:

Задайте точку начала первой выносной линии или <параметр по умолчанию>:

##### **Ответ на запрос системы по умолчанию:**

нажать клавишу ENTER, если необходимо нанести размеры к одному отдельному отрезку, дуге, окружности или сегменту полилинии. В этом случае система выдает дополнительный запрос:

Select object to dimension:

Выберите объект для нанесения размера:

и после указания объекта сама, автоматически, определяет начало выносных линий (выбор объекта осуществляют при помощи графического курсора).

Другой возможный ответ на первый запрос системы:

указать, пользуясь режимом объектной привязки, точку начала первой выносной линии на чертеже (если наносится размер, связывающий несколько объектов).

##### **Второй запрос системы:**

Specify second extension line origin:

Задайте точку начала второй выносной линии:

##### **Ответ:**

указать точку на чертеже, пользуясь режимом объектной привязки; этот запрос появляется в командной строке, если указана начальная точка первой выносной линии.

##### **Третий запрос системы:**

Specify dimension line location or [Mtext/Text/Angle]:



Задайте местоположение размерной линии или ...:

**Возможные ответы:**

- указать графическим курсором на чертеже точку, через которую должна проходить размерная линия (выбор удобной точки осуществляется перемещением курсора по чертежу, при этом можно видеть возможное положение размерной линии);
- ввести соответствующие относительные координаты, чтобы точно указать местоположение размерной линии.

Система заканчивает работу с командой, выдав сообщение о вычисленном размерном числе:

Dimension text = 22.5 Размерный текст =22.5

**Иные возможные ответы на третий запрос системы:**

После задания объекта пользователю предоставляется возможность выбора параметров **Mtext**, **Text**, **Angle**, позволяющих редактировать размерный текст. Эти параметры были подробно рассмотрены в описании команды **DIMLINEAR**.

**Замечание**

*При автоматическом размещении выносных линий для примитива окружность началом первой выносной линии будет точка, указанная при выборе окружности.*



**Команда DIMBASELINE**

**Назначение:**

Служит для вычерчивания нескольких размерных линий от одной выносной линии, которая принимается за базовую.

**Вызов команды:**

**Командная строка:** DIMBASELINE (DBA)

**Выпадающее меню:** Dimension > Baseline

**Инструментальная панель:** Dimension > Baseline Dimension

Запрос системы в ответ на команду:

Specify a second extension line origin or [Undo/Select] <Select>:

Задайте начало второй выносной линии или ... <параметр по умолчанию>:

**Ответ на запрос системы по умолчанию:**

нажать клавишу **ENTER**, если необходимо выбрать базовый размер; при этом система выдает дополнительный запрос:

Select base dimension:

Укажите базу размера:

с требованием указать определяющую выносную линию, которую предполагается использовать в качестве базы.

**Затем система повторяет запрос:**

Specify a second extension line origin or [Undo/Select] <Select>:

Задайте начало второй выносной линии или ... <параметр по умолчанию>:

позволяя создать несколько размеров от одной базовой линии. После вычерчивания каждого размерного блока система выдает сообщение о вычисленном размерном числе:

Dimension text = 22.5

Размерный текст = 22.5

Для завершения работы с командой дважды нажмите клавишу **ENTER**.

**Другой возможный ответ на первый запрос системы:**

указать, пользуясь режимом объектной привязки, точку начала второй выносной линии на чертеже (если предполагается использовать первую выносную линию предыдущего размера в качестве базовой). Система сообщит о вычисленном размерном числе:

Dimension text = 22.5

Размерный текст = 22.5 и повторит первый запрос.

Для завершения работы с командой дважды нажмите клавишу **ENTER**.

Иной возможный ответ на первый запрос системы:

U отменяет последний нанесенный размер.

#### **Замечания**

1. Команда **DIMBASELINE** может применяться только после выполнения хотя бы одной из команд **DIMLINEAR**, **DIMORDINATE** или **DIMANGULAR**.
2. Если в текущем сеансе не заданы никакие размеры, то при использовании команды **DIMBASELINE** появляется сообщение:  
*Select base dimension: Linear, Ordinate, or Angular Associative Dimension Required.*
3. Базовой выносной линией является первая выносная линия предшествующей команды **DIMBASELINE**.
4. Каждая новая размерная линия автоматически смещается относительно предыдущей на величину, задаваемую размерной переменной **DIMDLI**. Длина базовой выносной линии при этом также соответственно увеличивается.



#### **Команда DIMCONTINUE**

##### **Назначение:**

Обеспечивает вычерчивание цепочки размеров, используя вторую выносную линию предыдущего размера как первую выносную линию текущего размера.

##### **Вызов команды:**

**Командная строка:** DIMCONTINUE (DCO)

**Выпадающее меню:** Dimension > Continue

**Инструментальная панель:** Dimension > Continue Dimension

Запрос системы в ответ на команду:

Specify a second extension line origin or [Undo/Select] <Select>:

Задайте начало второй выносной линии или ... <параметр по умолчанию>:

##### **Ответ на запрос системы по умолчанию:**

нажать клавишу **ENTER**, если необходимо выбрать размер для начала размерной цепочки; при этом система выдает дополнительный запрос:

Select continued dimension:

Укажите продолжаемый размер:

с требованием указать определяющую точку второй выносной линии, которую предполагается использовать в качестве базы. Затем система многократно повторяет запрос:

Specify a second extension line origin or [Undo/Select] <Select>:

Задайте начало второй выносной линии или ... <параметр по умолчанию>:

позволяя создать несколько размеров. После вычерчивания каждого размерного блока система выдает сообщение о вычисленном размерном числе:

Dimension text = 22.5

Размерный текст =22.5

Для завершения работы с командой дважды нажмите клавишу **ENTER**.

##### **Другой возможный ответ на первый запрос системы:**

указать, пользуясь режимом объектной привязки, требуемую системой точку начала второй выносной линии на чертеже (если предполагается использовать вторую выносную линию предыдущего размера в качестве базовой).

##### **Система сообщит о вычисленном размерном числе:**

Dimension text = 22.5

Размерный текст =22.5

и повторит первый запрос. Для завершения работы с командой дважды нажмите клавишу **ENTER**.

Иной возможный ответ на первый запрос системы:

U отменяет последний нанесенный размер.

#### **Замечания**

1. Команда **DIMCONTINUE** может применяться только после выполнения хотя бы одной из команд **DIMLINEAR**, **DIMORDINATE** или **DIMANGULAR**.
2. Размерная линия начинается от второй выносной линии предшествующего размерного блока.
3. Если новая или предыдущая размерная линия имеет стрелки снаружи от выносных линий, то она будет смещена, чтобы избежать наложения размерных текстов.



### Угловые размеры

#### Команда **DIMANGULAR**

##### Назначение:

Позволяет вычерчивать размерную линию (дугу окружности) для обозначения угла между двумя непараллельными линиями, набором из трех точек, дуги или окружности.

##### Вызов команды:

**Командная строка:** **DIMANGULAR (DAN)**

**Выпадающее меню:** **Dimension > Angular**

**Инструментальная панель:** **Dimension > Angular Dimension**

##### Первый запрос системы в ответ на команду:

Select arc, circle, line, or <specify vertex>:

Укажите дугу, окружность, линию или ... <параметр по умолчанию>:

Дальнейшие запросы системы зависят от сделанного выбора.

##### Ответ на первый запрос системы по умолчанию:

нажать клавишу ENTER, если необходимо нанести размер угла, заданного тремя точками; при этом система выдает следующие дополнительные запросы:

Specify angle vertex:

Задайте вершину угла:

Specify first angle endpoint:

Задайте первую конечную точку угла:

Specify second angle endpoint:

Задайте вторую конечную точку угла:

Specify dimension arc line location or [Mtext/Text/Angle]:

Задайте местоположение размерной линии или ...:

Прежде чем окончательно определить положение размерной линии, пользователь имеет возможность выбора параметров Mtext, Text, Angle, которые позволяют редактировать размерный текст. Эти параметры были подробно рассмотрены в описании команды DIMLINEAR. После определения положения размерной линии система завершает работу с командой и сообщает в командной строке вычисленное размерное число:

Dimension text = 72

Размерный текст = 72

Другие возможные ответы на первый запрос системы:

- указать дугу окружности, если необходимо нанести угловой размер дуги; при этом система выдает дополнительный запрос:

Specify dimension arc line location or [Mtext/Text/Angle]:

Задайте местоположение размерной линии или ...:

Прежде чем окончательно определить положение размерной линии, можно изменить размерный текст при помощи параметров Mtext, Text, Angle, которые подробно рассмотрены в описании команды DIMLINEAR. После определения положения размерной линии система завершает работу с командой и сообщает в командной строке вычисленное размерное число:

Dimension text = 72

Размерный текст =72

- указать окружность для нанесения углового размера дуги окружности; при этом система выдает следующие дополнительные запросы:

Specify second angle endpoint:

Задайте вторую конечную точку угла:

Specify dimension arc line location or [Mtext/Text/Angle]:

Задайте местоположение размерной линии или ...:

Дальнейшие действия пользователя и реакция системы аналогичны описанным

выше.

- указать отрезок, если необходимо нанести размер угла между двумя непараллельными отрезками; при этом система выдает следующие дополнительные запросы:

Select second line:

Укажите вторую линию:

Specify dimension arc line location or [Mtext/Text/Angle]:

Задайте местоположение размерной линии или ...:

Дальнейшие действия пользователя и реакция системы аналогичны описанным

выше.

### **Замечания**

- Линии, угол между которыми нужно обозначить, могут не иметь точки пересечения.*
- Если размерная линия указана вне пределов линий, угол между которыми обозначается, то автоматически вычерчиваются выносные линии.*

### **Размеры дуг и окружностей**



#### **Команда DIMDIAMETER**

##### **Назначение:**

Обеспечивает вычерчивание размерного блока для обозначения размера диаметров дуг или окружностей.

##### **Вызов команды:**

**Командная строка:** DIMDIAMETER (DDI)

**Выпадающее меню:** Dimension > Diameter

**Инструментальная панель:** Dimension > Diameter Dimension

##### **Первый запрос системы в ответ на команду:**

Select arc or circle:

Выберите дугу или окружность:

##### **Ответ:**

указать графическим курсором точку, принадлежащую дуге или окружности. Эта точка определяет один конец размерной линии, направление которой задает точка центра окружности или дуги. После выбора объекта система сообщает вычисленный размер диаметра:

Dimension text = 53

Размерный текст = 53

##### **Второй запрос системы:**

Specify dimension line location or [Mtext/Text/Angle]:

Задайте местоположение размерной линии или ...:

##### **Ответ:**

указать графическим курсором на чертеже точку, через которую должна проходить размерная линия (выбор удобной точки осуществляется перемещением курсора по чертежу, при этом можно видеть возможное положение размерной линии).

##### **Иные возможные ответы на второй запрос системы:**

После выбора объекта пользователь может изменить размерный текст с помощью параметров **Mtext**, **Text**, **Angle**. Эти параметры были подробно рассмотрены в описании команды **DIMLINEAR**.

### **Замечания**

1. *Выносные линии не проводятся.*
2. *Если размерный текст не изменялся, то по умолчанию размерному числу предшествует знак диаметра окружности.*
3. *Нельзя изменить направление отрезка, который продолжает размерную линию диаметра за пределами окружности.*



### **Команда DIMRADIUS**

#### **Назначение:**

Обеспечивает вычерчивание размера радиуса окружности Или дуги окружности.

#### **Вызов команды:**

**Командная строка:** DIMRADIUS (DRA)

**Выпадающее меню:** Dimension > Radius

**Инструментальная панель:** Dimension > Radius Dimension

Первый запрос системы в ответ на команду:

Select arc or circle:

Выберите дугу или окружность:

#### **Ответ:**

указать графическим курсором точку, принадлежащую дуге или окружности. Эта точка определяет один конец размерной линии, направление которой задает точка центра окружности или дуги. После выбора объекта система сообщает вычисленный размер радиуса:

Dimension text = 25

Размерный текст = 25

#### **Второй запрос системы:**

Specify dimension line location or [Mtext/Text/Angle]:

Задайте местоположение размерной линии или ... :

#### **Ответ:**

указать графическим курсором на чертеже точку, через которую должна проходить размерная линия (выбор удобной точки осуществляется перемещением курсора по чертежу, при этом можно видеть возможное положение размерной линии).

Иные возможные ответы на второй запрос системы:

Параметры **Mtext**, **Text**, **Angle** используются так же, как описано выше в этой главе.

### **Замечания**

1. *Выносные линии не проводятся.*
2. *Если размерный текст не изменялся, то по умолчанию размерному числу предшествует символ R.*

### **Размеры в виде выноски**

Линию-выноску применяют, если для написания размерного числа недостаточно места над размерной линией или на чертеже необходимо указать радиус большой окружности. Кроме того, линию-выноску используют при нанесении номеров позиций в сборочных чертежах, а также во всех случаях, когда необходимо вставить поясняющий текст к каким-либо элементам чертежа. Линия-выноска представляет собой последовательность сплайновых или прямолинейных сегментов, началом которой может быть стрелка, точка или любой другой знак, а концом — поясняющий текст как самостоятельный объект.



### **Команда QLEADER**

#### **Назначение:**

Обеспечивает вычерчивание линии-выноски. Вызов команды:

**Командная строка:** QLEADER (LE)

**Выпадающее меню:** Dimension > Leader

**Инструментальная панель:** Dimension > Quick Leader

Первый запрос системы в ответ на команду:

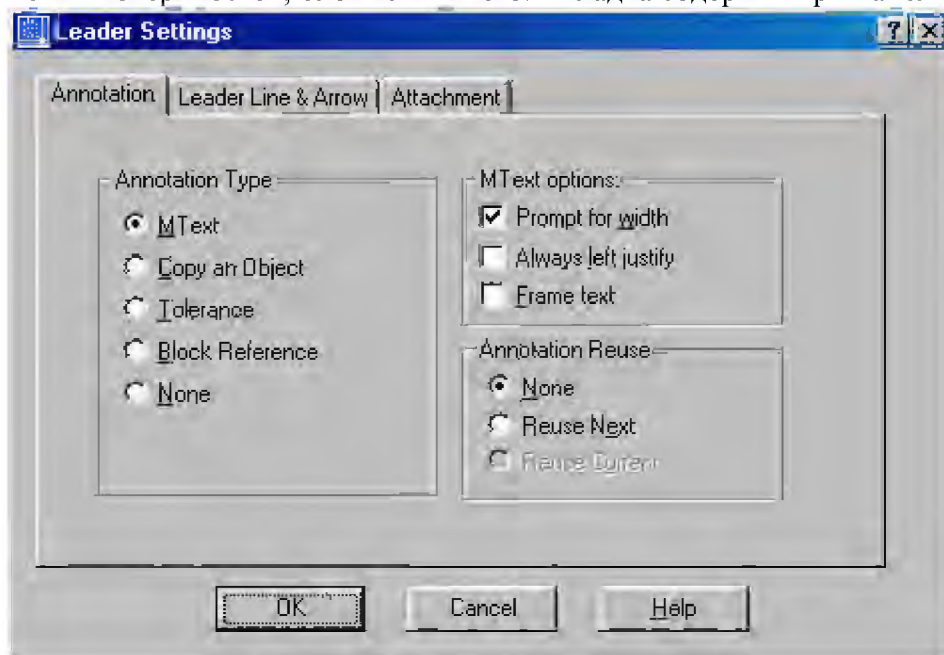
Specify first leader point, or [Settings]<Settings>:

Задайте точку начала линии-выноски или ... <параметр по умолчанию>:

**Ответ на первый запрос системы по умолчанию:**

нажать клавишу **ENTER**, если необходимо настроить параметры линии-выноски; при этом система открывает диалоговое окно **Leader Settings** (рис. 5.1), которое имеет три вкладки: **Annotation**, **Leader Line & Arrow** и **Attachment**.

Вкладка **Annotation** (рис. 5.1) позволяет управлять содержанием аннотации, добавляемой к линии выноски: это может быть многострочный текст, допуск формы и расположения поверхностей, блок или ничего. Вкладка содержит три панели.



*Рис. 5.1. Настройка параметров линии выноски*

Панель **Annotation Type** позволяет установить тип надписи на полке линии выноски. Панель содержит пять кнопок выбора.

- Кнопка выбора **Mtext** устанавливает на полке линии выноски надпись в виде многострочного текста.
- Кнопка выбора **Copy an Object** разрешает на полке линии выноски дублирование в надписи существующего в чертеже и указанного объекта: многострочного текста, текста, допуска формы и расположения поверхностей, блока.
- Кнопка выбора **Tolerance** устанавливает на полке линии выноски надпись в виде условного обозначения допуска формы и расположения поверхностей. Для составления записи допуска система открывает диалоговое окно **Geometric Tolerance**.
- Кнопка выбора **Block Reference** устанавливает на полке линии выноски надпись в виде указанного блока.
- Кнопка выбора **None** запрещает на полке линии выноски любую надпись.

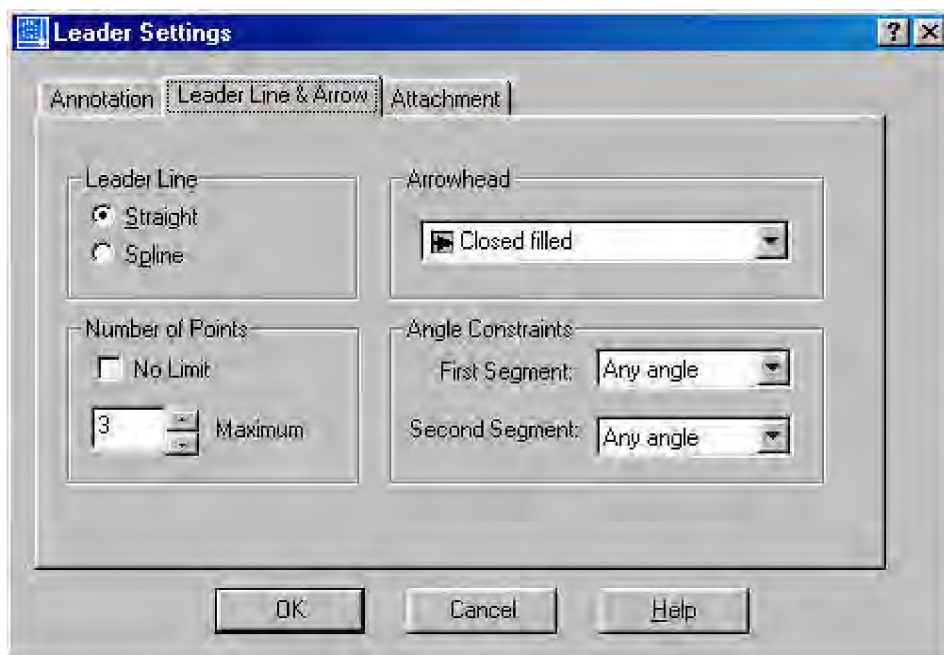
Панель **MText Options** позволяет установить свойства многострочного текста для надписи на полке линии выноски. Панель доступна только при установке режима **Mtext**. Она содержит три кнопки-переключателя.

- Флажок **Prompt for Width** разрешает системе выдавать запрос ширины многострочного текста на полке линии выноски.
- Флажок **Always Left Justify** разрешает выравнивание многострочного текста слева, независимо от положения полки линии выноски.
- Флажок **Frame Text** разрешает вычерчивание рамки вокруг многострочного текста надписи.

Панель **Annotation Reuse** позволяет управлять повторением надписи. Панель содержит три кнопки выбора.

- Кнопка выбора **None** запрещает повторять надпись.
- Кнопка выбора **Reuse Next** разрешает повторять надпись.
- Кнопка выбора **Reuse Current** разрешает использовать введенную перед этим надпись.

Вкладка **Leader Line & Arrow** (рис. 5.2) позволяет управлять внешним видом линии выноски и формой стрелки указателя линии выноски. Вкладка содержит четыре панели.



*Рис. 5.2. Настройка внешнего вида линии выноски*

Панель **Leader Line** позволяет управлять типом линии для выноски. Панель содержит две кнопки выбора.

- Кнопка выбора **Straight** устанавливает линию выноски в виде ломаной линии с прямолинейными сегментами.
- Кнопка выбора **Spline** устанавливает линию выноски в виде гладкой кривой (сплайна).

Панель **Arrowhead** позволяет управлять типом стрелки-указателя линии выноски. Панель содержит один раскрывающийся список.

- Раскрывающийся список **Arrowhead** позволяет выбрать в предлагаемом перечне желаемый тип стрелки-указателя линии выноски.

Панель **Number of Points** позволяет установить число точек (число сегментов) линии выноски. Панель содержит кнопку-переключатель и поле ввода.

- Флажок **No Limit** разрешает системе выдавать запрос следующей точки ломаной линии выноски до нажатия пользователем клавиши **ENTER**.
- Поле ввода **Maximum** позволяет установить максимальное число запросов точек для ломаной линии выноски, прежде чем система выдаст запрос на ввод многострочного текста надписи. Число точек должно быть на единицу больше, чем желаемое число сегментов линии выноски.

Панель **Angle Constraints** позволяет установить ограничения на ориентацию сегментов линии выноски. Панель содержит два раскрывающихся списка.

- Раскрывающийся список **First Segment** позволяет выбрать в предлагаемом перечне желаемый угол наклона первого сегмента выносной линии.
- Раскрывающийся список **Second Segment** позволяет выбрать в предлагаемом перечне желаемый угол наклона второго сегмента выносной линии.



Вкладка **Attachment** (рис. 5.3) позволяет управлять положением полки линии выноски относительно поясняющей надписи. Вкладка содержит панель и кнопку-переключатель.

Панель **Multiline Text Attachment** позволяет выбрать способ расположения многострочного текста. Панель содержит два столбца кнопок выбора. Левый столбец содержит средства управления компоновкой выноски, если стрелка-указатель линии выноски направлена влево. Правый столбец — если стрелка-указатель направлена вправо. По умолчанию предлагается компоновка, когда полка линии выноски располагается в середине нижней строки многострочного текста. Предлагаемые способы выравнивания многострочного текста:



*Рис. 5.3. Настройка положения надписи относительно полки линии выноски*

- **Top of Top Line** — по верху верхней строки;
- **Middle of Top Line** — по середине верхней строки;
- **Middle of Multiline Text** — по середине текста;
- **Middle of Bottom Line** — по середине нижней строки;
- **Bottom of Bottom Line** — по низу нижней строки.
- Флажок **Underline Bottom Line** отменяет все способы расположения надписи и разрешает только ее подчеркивание полкой линии выноски.

**После настройки параметров линии выноски система повторяет первый запрос:**

Specify first leader point, or [Settings]<Settings>:

Задайте точку начала линии-выноски или ... <параметр по умолчанию>:

**Возможный ответ на первый запрос системы:**

указать графическим курсором точку начала линии выноски, если изменять ее параметры не требуется.

**Второй запрос системы в ответ на команду:**

Specify next point:

Задайте следующую точку:

**Ответ:**

указать графическим курсором следующую точку линии выноски; этот запрос повторяется до тех пор, пока пользователь не нажмет клавишу **ENTER**.

Следующий запрос системы зависит от настройки параметров линии выноски, по умолчанию в командной строке появляется:

Enter first line of annotation text <Mtext>:

Введите первую строку пояснительного текста <Mtext>:



**Ответ:**

напечатайте необходимую строку текста. Следующий запрос системы:

Enter next line of annotation text:

Введите следующую строку пояснительного текста:

**Возможные ответы:**

- нажать два раза клавишу **ENTER**, чтобы завершить работу команды;
- напечатать следующую строку текста.

**Замечания**

1. Как отображается многострочный текст, зависит от установленных единиц измерения и текущего текстового стиля.
2. Линии-выноски управляются размерными системными переменными: **DIMASZ**, **DIMCLRD**, **DIMCLRT**, **DIMGAP**.

**Допуски формы и расположения поверхностей**

Допуски формы и расположения поверхностей указывают на чертеже условными знаками, размещенными в прямоугольной рамке, которая разделена на несколько частей. В первой части рамки помещен символ допуска в соответствии с ЕСКД, во второй — численное значение допуска в миллиметрах, в третьей и последующих — буквенное обозначение базы. Рамку соединяют с элементом, к которому относится допуск, линией выноски, заканчивающейся стрелкой.

**Команда TOLERANCE****Назначение:**

Обеспечивает вычерчивание допусков формы и расположения поверхностей.

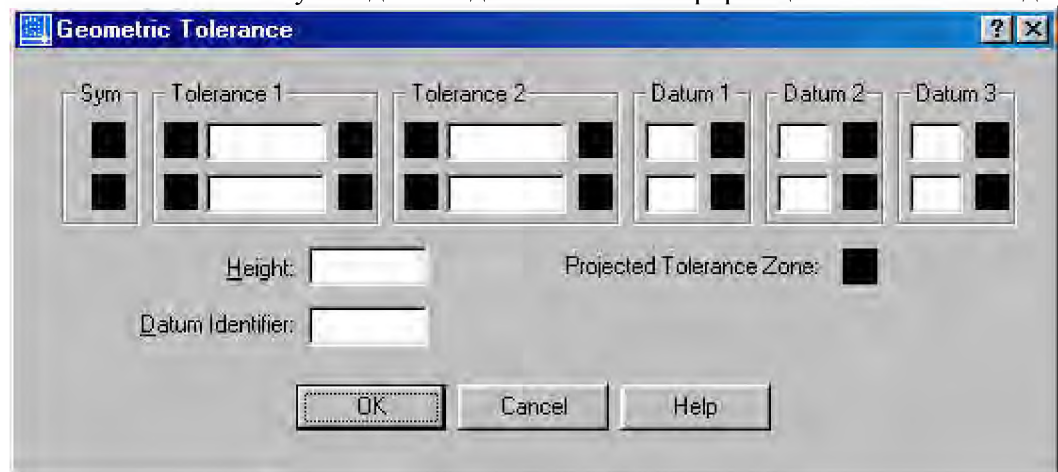
**Вызов команды:**

**Командная строка:** TOLERANCE (TOL)

**Выпадающее меню:** Dimension >TOLERANCE

**Инструментальная панель:** Dimension >TOLERANCE

После ввода команды система открывает диалоговое окно **Geometric Tolerance** (рис. 5.4), в верхней части которого показана условная рамка допуска, разделенная на соответствующие части. Щелчок по черному полю вызывает диалоговое окно, в котором можно выбрать условный символ, обозначающий вид допуска формы и расположения поверхностей. Белые поля служат для ввода текстовой информации - это поля ввода.



*Рис. 5.4. Назначение допуска формы и расположения поверхностей*

Выбор первой части рамки (**Sym**) открывает диалоговое окно **Symbol** с условными обозначениями допусков формы и расположения поверхностей, которые используется для указания соответствующего типа допуска.

Знак диаметра перед числовым значением допуска можно вписать, если щелкнуть мышью на второй части условной рамки. Иные необходимые знаки перед числовым значением допуска вписываются непосредственно в поле для ввода численного значения допуска (третья часть рамки).

Для зависимых допусков формы и расположения после числового значения допуска можно вписать соответствующий условный знак, выбрав его из диалогового окна **Material Condi...**, которое открывается при щелчке на черном квадрате, обозначающем следующую (четвертую) часть рамки.

В конце условной рамки можно задать до трех баз: **Datum 1, Datum 2, Datum 3.**

Кроме того, в диалоговом окне **Geometric Tolerance** имеется возможность указания выступающего поля допуска, длины поля допуска и обозначения базы.

### 3 Команды редактирования размерного блока



#### Команда DIMEDIT

##### Назначение:

Используется для одновременного модифицирования размерного текста нескольких объектов и для изменения угла наклона выносных линий относительно измеряемого отрезка.

##### Вызов команды:

**Командная строка:** DIMEDIT (DED)

**Инструментальная панель:** Dimension -> Dimension Edit

##### Запрос системы в ответ на команду:

Enter type of dimension editing [Home/New/Rotate/Oblique] <Home>:

Введите способ редактирования размерного блока ... <параметр по умолчанию>:

##### Возможные ответы:

нажать клавишу ENTER, если параметр по умолчанию соответствует намерениям пользователя; при этом система инициирует дополнительный запрос:

Select objects: Выберите объекты:

**H** используется, если необходимо переместить размерный текст в положение по умолчанию, заданное установками текущего стиля; при этом система инициирует дополнительный запрос:

Select objects:

Выберите объекты:

**N** используется, если необходимо изменить существующий размерный текст. После ввода параметра N (New) система открывает диалоговое окно многострочного текстового редактора Multiline Text Editor, позволяя использовать весь набор его средств редактирования. После внесения изменений инициируется дополнительный запрос: Select objects: Выберите объекты:

**R** используется, если необходимо повернуть размерный текст на определенный угол; при этом система инициирует дополнительные запросы:

Specify angle for dimension text:

Задайте угол поворота размерного текста:

Select objects:

Выберите объекты:

**O** используется, если необходимо изменить угол наклона выносных линий относительно измеряемого отрезка; при этом система инициирует дополнительные запросы:

Select objects:

Выберите объекты:

Enter obliquing angle (press ENTER for none):

Введите угол наклона (нажмите ENTER для отказа):

##### Замечания

1. Меню **Modify** содержит пункт **Text**, при выборе которого размерный текст также можно редактировать в диалоговом окне многострочного текстового редактора **Multiline Text Editor**.

2. Меню **Dimension** содержит строку **Oblique**, при выборе которой вызывается команда **DIMEDIT** с параметром **O (Oblique)**.
3. Подменю **Align Text** меню **Dimension** содержит строку **Home**, при выборе которой вызывается команда **DIMEDIT** с параметром **H (Home)**.
4. Команда **DIMEDIT** позволяет изменять параметры сразу для нескольких размерных блоков.



### **Команда DIMTEDIT**

#### **Назначение:**

Используется для изменения местоположения размерного текста одного размера.

#### **Вызов команды:**

**Командная строка:** DIMTEDIT

**Выпадающее меню:** Dimension > Align Text

**Инструментальная панель:** Dimension > Dimension Text Edit

#### **Первый запрос системы в ответ на команду:**

Select Dimension: Выберите размер:

#### **Ответ:**

указать графическим курсором размер, положение которого необходимо изменить.

#### **Второй запрос системы:**

Specify new location for dimension text or [Left/Right/Center/Home/ Angle]:

Задайте новое положение размерного текста или ...:

Ответ на запрос системы по умолчанию:

указать графическим курсором новое место размещения размерного текста.

#### **Иные возможные ответы:**

**L** используется, если необходимо выровнять размерный текст по левому краю (для линейных размеров, размеров радиуса и диаметра);

**R** используется, если необходимо выровнять размерный текст по правому краю (для линейных размеров, размеров радиуса и диаметра);

**C** используется, если необходимо выровнять размерный текст по центру (для линейных размеров, размеров радиуса и диаметра);

**H** используется, если необходимо переместить размерный текст в положение по умолчанию, заданное установками текущего стиля;

**A** используется, если необходимо повернуть размерный текст на определенный угол; при этом система инициирует дополнительный запрос:

Specify angle for dimension text:

Задайте угол поворота размерного текста:

#### **Замечания**

1. Изменить содержание размерной надписи командой **DIMTEDIT** нельзя.
2. При использовании команды **DIMTEDIT** стиль редактируемого размера изменяется на текущий размерный стиль.
3. Команда **DIMTEDIT** позволяет изменять выбранный параметр только у одного размерного блока.

#### **4. Последовательность выполнения работы**

- 1. Изучите основные приемы и команды редактирования чертежей.**
- 2. Вызвать задания выполненные в предыдущих лабораторных работах и приобрести навыки работы с каждой командой.**
- 3. Получите индивидуальное задание от преподавателя и выполните его.**
- 4. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.**

#### **5. Контрольные вопросы**

- 1. Поясните назначение команд общего редактирования.**
- 2. Какими способами можно произвести растягивание или сжатие объекта?**
- 3. Как произвести изменение длины открытых объектов и центральные углов дуг.**
- 4. Какие действия выполняет команда TRIM?**
- 5. Какие действия выполняет команда EXTEND?**
- 6. Как осуществить усечение двух пересекающихся отрезков, лучей, прямых или линейных сегментов полилинии — создать фаску?**
- 7. Как осуществить сопряжение дугой заданного радиуса отрезков, дуг, окружностей или линейных сегментов полилиний?**
- 8. Поясните назначение команды EXPLODE.**

### **3. Раздел контроля знаний**

## Перечень контрольных вопросов по дисциплине

### «Основы конструирования и САПР»

1. Конструкция трубопроводной арматуры
2. Виды сред трубопроводной арматуры
3. Признаки классификации ТА
4. Классификация ТА по целевому назначению
5. Классификация ТА по области применения
6. Классификация ТА по принципу управления и действия
7. Классификация ТА по функциональному назначению
8. Классификация ТА по материалу корпуса
9. Классификация ТА по конструкции корпуса
10. Классификация ТА по конструкции присоединительных патрубков
11. Классификация ТА по способу герметизации
12. Классификация ТА по способу расположения
13. Типы ТА
14. Задвижки
15. Клапаны
16. Заслонки
17. Краны
18. Мембранный клапан
19. Шланговый клапан
20. Регуляторы давления, расхода и уровня
21. Конденсатоотводчики
22. Эксплуатационные параметры арматуры
23. Монтажные параметры арматуры
24. Муфтовая ТА
25. Фланцевая арматура. Типы применяемых фланцев
26. Корпусные материалы ТА
27. Уплотнительные материалы ТА
28. Прокладочные материалы ТА
29. Герметизирующие материалы ТА
30. Смазки ТА
31. Обозначение арматуры по типу арматуры
32. Обозначение арматуры по материалу корпуса
33. Обозначение арматуры по типу привода
34. Обозначение арматуры по материалу уплотнительных колец
35. Условные обозначения арматуры
36. Тепловая схема промышленно-отопительной ТЭЦ
37. Тепловая схема КЭС
38. Тепловая схема АЭС
39. Автоматически действующая ТА
40. Предохранительная ТА

41. Защитная ТА
42. Понятие процесса проектирования.
43. Понятие объекта проектирования. Задачи проектировщика.
44. Основные трудности процесса проектирования.
45. Эволюция процесса проектирования.
46. Чертежный способ проектирования. Недостатки решения сложных задач при традиционном проектировании. Необходимость применения новых методов проектирования.
47. Понятие систем автоматизированного проектирования (САПР)
48. Понятия «черного» и «прозрачного» ящика. Расчленимые и нерасчленимые задачи проектирования.
49. Понятие линейности и цикличности. Проектирование как трехступенчатый процесс.
50. Дивергенция, трансформация, конвергенция.
51. Основные критерии управления проектными работами.
52. Выявление и пересмотр важнейших решений.
53. Соотношение затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с убытками от принятия неверного решения.
54. Распределение заданий в соответствии с возможностями исполнителей.
55. Отыскание полезных источников информации.
56. Исследование взаимосвязей между изделием и средой.
57. Новые методы проектирования в действии. Готовые стратегии.
58. Управление стратегией. Методы исследования проектных ситуаций.
59. Методы поиска идей. Методы исследования структуры проблемы.
60. Методы оценки. Выбор стратегий и методов.
61. Последовательность стадий проектирования энергетических объектов.
62. Проектно-конструкторские организации для проектирования энергетических объектов.
63. Законодательная и нормативная база для выполнения проектной документации.
64. Основные разделы проектной документации для теплоэнергетических объектов. Общая пояснительная записка (ПЗ).
65. Генеральный план и транспорт.
66. Технологические решения.
67. Управление производством и предприятием, условия и охрана труда.
68. Архитектурно-строительные решения.
69. Инженерное оборудование, сети и системы.
70. Организация строительства. Охрана окружающей среды. Инженерно-технические мероприятия ГО и ЧС.
71. Сметная документация. Эффективность инвестиций.
72. Технология выполнения и оформления технической документации на проектируемый энергетический объект.

73. Комплектация проектно- конструкторской документации для проектируемого энергетического объекта.
74. Последовательность (алгоритм) конструирования изделий или проектирования объекта.
75. Разновидность моделей при их конструировании (проектировании).
76. Разновидности расчета трубопроводов.
77. Выбор труб для трубопроводных систем.
78. Схемы основных трубопроводных систем.
79. Нагрузки и деформации трубопроводных систем.
80. Основные понятия при расчете на прочность.
81. Основы расчета трубопроводов на прочность и самокомпенсацию.
82. Разновидности способов компенсации температурных деформаций.
83. Арматура: ее разновидности, назначение, конструкция.
84. Опоры трубопроводов: неподвижные, свободные, упругие (пружинные).
85. Их назначение, цель и принцип расчета на прочность, конструкция.
86. Гидравлический и тепловой расчет трубопроводных систем.
87. Применение автоматизированных систем проектирования для проектирования трубопроводных систем.
88. Структурная схема АС. Совместимость АС различного назначения.
89. САПР как разновидность АС. САПР теплоэнергетических объектов.
90. Иерархия состава САПР и её инвариантная структура.
91. Стадии создания САПР. Назначение, цель и роль каждой из стадий.
92. Назначение программно-организационной (организационной) подсистемы САПР.
93. Место специалиста инженера-теплоэнергетика в организационной подсистеме САПР.
94. Назначение программно-технической (технической) подсистемы САПР.
95. Компоненты комплекса технических средств (КТС) САПР, их функции и технические характеристики (параметры).
96. Методическое обеспечение САПР. Основная цель, её реализация.
97. Математическое обеспечение САПР. Роль и место оптимизационных расчётов при выполнении проектов энергетики.
98. Программное обеспечение САПР.
99. Общее программное обеспечение: операционные системы, программное обеспечение вычислительных сетей, системы программирования, обрабатывающие программы, пакеты прикладных программ (ППП) общего назначения.
100. Специальное программное обеспечение: пакеты прикладных программ САПР, интерактивные графические системы, диалоговые системы коллективного пользования.
101. Информационное обеспечение САПР. Основные компоненты информационной подсистемы, информационная база диалогового проектирования, модели базы данных.



102. Лингвистическое обеспечение САПР. Классификация языков САПР. Диалоговые языки САПР.

## **4. Вспомогательный раздел**

Министерство образования Республики Беларусь

Учебно-методическое объединение вузов Республики Беларусь  
по образованию в области энергетики и энергетического оборудования

Учебно-методическое объединение вузов Республики Беларусь  
по образованию в области автоматизации технологических  
процессов, производств и управления



УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра образования  
Республики Беларусь

А. И. Жук

16.03.2011 г.

Регистрационный № ТД- Т. 511 /тип.

## ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И САПР

Типовая учебная программа

для высших учебных заведений по специальностям:

1-43 01 04 Тепловые электрические станции;

1-53 01 04 Автоматизация и управление энергетическими процессами;

1-43 01 08 Паротурбинные установки атомных электрических станций

### СОГЛАСОВАНО

Председатель учебно-методического  
объединения вузов Республики Беларусь  
по образованию в области энергетики и  
энергетического оборудования

Ф. А. Романюк

16.03.2010г.

Председатель учебно-методического  
объединения вузов Республики Беларусь  
по образованию в области автоматизации  
технологических процессов, производств и  
управления

Г. Н. Здор

24.03.2010г.

Романюк Ф. А., Здор Г. Н.  
и.д.

А. И. Плещинская

### СОГЛАСОВАНО

Начальник Управления высшего и  
среднего специального образования  
Министерства образования  
Республики Беларусь

Ю. И. Миксюк

03.01.2011

Проректор по учебной и воспитательной  
работе Государственного учреждения  
образования «Республиканский институт  
высшей школы»

В. И. Шупляк

10.10.2010

Эксперт-нормоконтролер

А. И. Плещинская

05/10.10.2010

Минск 2010

**СОСТАВИТЕЛИ:**

А.Л. Буров, старший преподаватель кафедры «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета;

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ БАЗОВОЙ:**

кафедрой «Тепловые электрические станции»

(протокол № \_\_\_\_ заседания кафедры от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.)

Научно-методической комиссией Белорусского национального технического университета

(протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2014 г.)

Научно-методическим советом по энергетике и энергетическому оборудованию Учебно-методического объединения вузов Республики Беларусь по образованию в области энергетике и энергетического оборудования

(протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2014 г.)

Ответственный за редакцию: А.Л.Буров

Ответственный за выпуск: А.Л. Буров

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Типовая учебная программа «Основы конструирования и САПР» разработана в соответствии с требованиями образовательных стандартов по специальностям 1- 43 01 04 «Тепловые электрические станции», 1- 53 01 04 «Автоматизация и управление энергетическими процессами». Дисциплина «Основы конструирования и САПР» для специальности 1- 43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» входит в вузовский компонент цикла общеобразовательных и специальных дисциплин.

Целью изучения дисциплины «Основы конструирования и САПР» является ознакомление с принципами конструирования элементов тепловых электростанций и теории автоматизации проектирования сложных технических систем.

Основной задачей преподавания дисциплины является подготовка специалистов для проектно-конструкторской деятельности на ТЭС с использованием современных систем автоматизированного проектирования.

Повышение производительности труда проектировщиков различных отраслей народного хозяйства, в т.ч. ТЭС и АЭС возможно лишь путем широкого внедрения автоматизации проектирования.

Во время изучения дисциплины студенты знакомятся с опытом создания автоматизированного проектирования ведущих в этом плане отраслей народного хозяйства, с задачами по созданию САПР ТЭС, достижениями и задачами по созданию единой системы автоматизированного проектирования ТЭС. Студенты изучают состояние проектного дела в крупных проектных организациях Республики Беларусь.

Базой для изучения дисциплины являются такие дисциплины как «Информатика», «Математика», «Физика» и «Механика».

В результате освоения дисциплины «Основы конструирования и САПР» студент должен:

**знать:**

- законодательство, арбитраж и нормативные документы, используемые при проектировании;
- иерархию состава САПР и ее инвариантную структуру;
- математическое, методическое и программное обеспечение систем проектирования;
- технология выполнения и оформления технической документации на проектируемый объект;

**уметь:**

- использовать в проектной деятельности систему проектирования AutoCAD;
- применять в расчетах трубопроводных систем программу расчета ASTRA;
- при проектировании трубопроводов уметь пользоваться сортаментом с учетом параметров транспортируемой среды.

## Диагностика компетенций студента

Оценка уровня знаний студента при защите курсовой работы производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента используется следующий диагностический инструментарий:

- проведение текущих контрольных опросов и работ по отдельным темам;
- защита выполненных лабораторных работ;
- защита курсовой работы;
- сдача экзамена (зачета).

Согласно типовым учебным планам на изучение дисциплины «Основы конструирования и САПР» отведено:

для специальности 1- 43 01 04 «Тепловые электрические станции» всего 128 часов, в том числе 72 часа аудиторных занятий, из них лекции – 36 ч.; лабораторные работы – 36 ч;

для специальности 1- 53 01 04 «Автоматизация и управление энергетическими процессами» всего 67 часов, в том числе 42 часа аудиторных занятий, из них лекции – 14 ч.; лабораторные работы – 28 ч.

для специальности 1- 43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» всего 128 часов, в том числе 72 часа аудиторных занятий, из них лекции – 36 ч.; лабораторные работы – 36 ч.

### Примерный тематический план курса

Наименование раздела и темы	Лекции (часы)	Лабораторные занятия (часы)	Всего аудиторных часов
<b>Раздел I. Понятие теории проектирования</b>			
Тема 1. Процесс проектирования и его совершенствование. Традиционные методы проектирования. Необходимость применения новых методов проектирования.	4(2)		4(2)
Тема 2. Обзор новых методов проектирования.	2(1)		2(1)
Тема 3. Критерии управления проектными работами.	2(1)		2(1)
Тема 4. Выбор стратегий и методов	2(1)		2(1)
<b>Раздел II. Проектирование энергетических объектов</b>			
Тема 5. Порядок проектирования энергетических объектов	4(1)		4(1)
Тема 6. Содержание и состав проекта теплоэнергетических объектов (ТЭС, котельная).	4(1)		4(1)
Тема 7. Оформление проектной документации	2(1)		2(1)
<b>Раздел III. Роль и место технических расчетов при выполнении проектов.</b>			
Тема 8. Конструкторские проработки по энергетического оборудованию ТЭС.	4(2)		4(2)
Тема 9. Трубопроводные системы энергетических объектов.	4(2)	6(4)	10(6)
<b>Раздел IV. Системы автоматизированного проектирования</b>			
Тема 10. Автоматизированные системы (АС).	4(1)	2(2)	6(3)
Тема 11. Обеспечения САПР	4(1)	28(22)	32(23)
<b>ВСЕГО</b>	36(14)*	36(28)*	72(42)*

\* Примечание: без скобок указаны часы специальностей 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции», 1- 43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций»; в скобках – часы специальности 1- 53 01 04 «Автоматизация и управление энергетическими процессами».

## **СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### ***РАЗДЕЛ I. ПОНЯТИЕ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ***

#### **Тема 1. ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ. ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. НЕОБХОДИМОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Понятие процесса проектирования. Понятие объекта проектирования. Задачи проектировщика. Основные трудности процесса проектирования. Эволюция процесса проектирования. Чертежный способ проектирования. Недостатки решения сложных задач при традиционном проектировании. Необходимость применения новых методов проектирования. Понятие систем автоматизированного проектирования (САПР)

#### **Тема 2. ОБЗОР НОВЫХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Понятия «черного» и «прозрачного» ящика. Расчленимые и нерасчленимые задачи проектирования. Понятие линейности и цикличности. Проектирование как трехступенчатый процесс. Дивергенция, трансформация, конвергенция.

#### **Тема 3. КРИТЕРИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТНЫМИ РАБОТАМИ**

Основные критерии управления проектными работами. Выявление и пересмотр важнейших решений. Соотношение затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с убытками от принятия неверного решения. Распределение заданий в соответствии с возможностями исполнителей. Отыскание полезных источников информации. Исследование взаимосвязей между изделием и средой.

#### **Тема 4. ВЫБОР СТРАТЕГИЙ И МЕТОДОВ**

Новые методы проектирования в действии. Готовые стратегии. Управление стратегией. Методы исследования проектных ситуаций. Методы поиска идей. Методы исследования структуры проблемы. Методы оценки. Выбор стратегий и методов.

### ***РАЗДЕЛ II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ***

#### **Тема 5. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Последовательность стадий проектирования энергетических объектов. Проектно-конструкторские организации для проектирования энергетических объектов. Законодательная и нормативная база для выполнения проектной документации.



### **Тема 6. СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ ПРОЕКТА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ (ТЭС, КОТЕЛЬНАЯ)**

Основные разделы проектной документации для теплоэнергетических объектов. Общая пояснительная записка (ПЗ). Генеральный план и транспорт. Технологические решения. Управление производством и предприятием, условия и охрана труда. Архитектурно-строительные решения. Инженерное оборудование, сети и системы. Организация строительства. Охрана окружающей среды. Инженерно-технические мероприятия ГО и ЧС. Сметная документация. Эффективность инвестиций.

### **Тема 7. ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

Технология выполнения и оформления технической документации на проектируемый энергетический объект. Комплектация проектно- конструкторской документации для проектируемого энергетического объекта.

## ***РАЗДЕЛ III. РОЛЬ И МЕСТО ТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЕКТОВ***

### **Тема 8. КОНСТРУКТОРСКИЕ ПРОРАБОТКИ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЮ ТЭС**

Последовательность (алгоритм) конструирования изделий или проектирования объекта. Разновидность моделей при их конструировании (проектировании).

### **Тема 9. ТРУБОПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Разновидности расчета трубопроводов. Выбор труб для трубопроводных систем. Схемы основных трубопроводных систем. Нагрузки и деформации трубопроводных систем. Основные понятия при расчете на прочность. Основы расчета трубопроводов на прочность и самокомпенсацию. Разновидности способов компенсации температурных деформаций. Арматура: ее разновидности, назначение, конструкция. Опоры трубопроводов: неподвижные, свободные, упругие (пружинные). Их назначение, цель и принцип расчета на прочность, конструкция. Гидравлический и тепловой расчет трубопроводных систем. Применение автоматизированных систем проектирования для проектирования трубопроводных систем.

## ***РАЗДЕЛ IV. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ***

### **Тема 10. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ (АС)**

Основные понятия. Структурная схема АС. Совместимость АС различного назначения. САПР как разновидность АС. САПР теплоэнергетических объектов. Иерархия состава САПР и её инвариантная структура. Стадии создания САПР Назначение, цель и роль каждой из стадий. Назначение программно-

организационной (организационной) подсистемы САПР. Место специалиста инженера-теплоэнергетика в организационной подсистеме САПР. Назначение программно-технической (технической) подсистемы САПР. Компоненты комплекса технических средств (КТС) САПР, их функции и технические характеристики (параметры).

#### **Тема 11. ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР**

Методическое обеспечение САПР. Основная цель, её реализация. Математическое обеспечение САПР. Роль и место оптимизационных расчётов при выполнении проектов энергетики.

Программное обеспечение САПР. Общее программное обеспечение: операционные системы, программное обеспечение вычислительных сетей, системы программирования, обрабатывающие программы, пакеты прикладных программ (ППП) общего назначения. Специальное программное обеспечение: пакеты прикладных программ САПР, интерактивные графические системы, диалоговые системы коллективного пользования. Информационное обеспечение САПР. Основные компоненты информационной подсистемы, информационная база диалогового проектирования, модели базы данных. Лингвистическое обеспечение САПР. Классификация языков САПР. Диалоговые языки САПР.

### **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

#### **ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Основные понятия и принципы работы системы AutoCAD. Настройка системной среды AutoCAD
2. Графические примитивы AutoCAD
3. Средства формирования чертежей
4. Редактирование чертежей в AutoCAD
5. Нанесение и редактирование штриховки. Создание размерного стиля Нанесение и редактирование размеров.
6. Принципы организации автоматизированных систем (АС), систем автоматизированного проектирования (САПР). Техническое, информационное обеспечение САПР.
7. Определение теплофизических характеристик сталей с помощью программы STEEL. Расчет трубопроводной системы на прочность с использованием программы ASTRA

#### **ПРИМЕРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Тема курсовой работы: «Расчет и проектирование трубопроводных систем ТЭС».

В проектировании тепловых и атомных электростанции значительное место занимает проектирование трубопроводных систем. Трубопроводные системы являются транспортными магистралями различных сред (пар, вода, масло)

при различных температурах и давлениях. От грамотного конструирования этих систем во многом зависит надежность работы тепловых электростанций, тепловых сетей.

Задача курсового проекта - систематизация знаний по расчету проектированию трубопроводных систем с применением прикладной программы «АСТРА». По данным расчета производится вычерчивание (с использованием AUTOCAD) отдельных блоков трубопроводной системы на плоттере. Таким образом, в процессе выполнения курсового проекта планируется закрепление знаний и приобретение навыка проектирования технологических коммуникаций на тепловых электростанциях.

Разделы пояснительной записки курсового проекта:

Введение

1. Исходная схема трубопроводной системы,
2. Предварительный выбор марки стали и диаметров труб трубопроводной системы.
3. Предварительный расчет толщины стенки трубопровода.
4. Формализация исходной схемы трубопроводной системы.
5. Краткая характеристика прикладной программы «АСТРА».
6. Оценка компенсирующей способности трубопровода при помощи приближенного метода.
7. Заполнение бланков для расчета на ЭВМ трубопроводной системы по прикладной программе «АСТРА».
8. ИСХОДНЫЕ данные и результаты расчета на прочность по программе «АСТРА».
9. Анализ надежности работы заданной трубопроводной системы.
10. Тепловой и гидравлический расчет трубопроводной системы.
11. Специальное задание.

Заключение.

Литература.

#### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Половинкин, А.И. Основы инженерного творчества/ А.И.Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
2. Джонс, Дж.К. Методы проектирования/ Дж.К.Джонс. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
3. Эллен Финкельштейн. AutoCAD 2008 and AutoCAD LT 2008 Bible. – М.: Диалектика, 2008. – 1344 с.
4. Антикайн, П.А. Металлы и расчёт на прочность котлов и трубопроводов/ П.А. Антикайн. – М.: Энергия, 1980.- – 424с.
5. Антикайн, П.А. Краткий справочник по металлам для оборудования и трубопроводов ТЭС/ П.А.Антикайн. – М.: Энергоатомиздат, 1991. –167с.
6. Никитина, И.К. Справочник по трубопроводам тепловых электростанций/ И.К.Никитина. – М.: Энергоатомиздат, 1983. –175 с.

7. Тепловые и атомные электростанции: Справочник/Под общ. Ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2003 – 648 с. – (Теплоэнергетика и теплотехника; Кн. 3).
8. САПР. Системы автоматизированного проектирования: Учеб. пособие для техн. вузов. В 9кн./Под ред. И.П.Норенкова. – Мн.:Выш.шк.,1988.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Ривкин, С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара/ С.Л. Ривкин, А.А.Александров. – М: Энергия,1975. – 80с.
2. Стерман, Л.С. Тепловые и атомные электрические станции/ Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г.Тишин. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 424 с.
3. Щепетильников, М.И. Сборник задач по курсу ТЭС/ М.И. Щепетильников, В.И. Хлопушин. – М.: Энергоатомиздат,1983. – 176 с.

### **Средства диагностики**

Оценка уровня знаний студента при защите курсовой работы производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента используется следующий диагностический инструментарий:

- проведение текущих контрольных опросов и работ по отдельным темам;
- защита выполненных лабораторных работ;
- защита курсовой работы;
- сдача экзамена (зачета).

### **Методы (технологии) обучения**

Основными методами (технологиями) обучения, отвечающими целям изучения дисциплины «Основы конструирования и САПР», являются:

- элементы проблемного изложения, реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности и реализация творческого подхода, реализуемые на лабораторных работах и при самостоятельной работе студентов;
- проектные технологии, используемые при проектировании конкретного объекта, реализуемые при выполнении курсовой работы.

## **Организация самостоятельной работы студентов**

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы:

- контролируемая самостоятельная работа в виде решения индивидуальных задач в аудиториях во время проведения лабораторных работ под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам;
- подготовка курсовой работы по индивидуальным заданиям.