

Белорусский национальный технический университет

Факультет технологий управления и гуманитаризации

**Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники
энергии»**

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Производство, транспорт и потребление
тепловой энергии»**

для специальности

1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент»

Составители: Янцевич Ирина Владимировна,
Климович Сергей Викторович,
Шандроха-Янцевич Александра Эдуардовна

Минск ◊ БНТУ ◊ 2023

Перечень материалов

Теоретический раздел

- конспект лекций

Практический раздел

- задания для выполнения практических работ

Контроль знаний

- экзаменационные вопросы

Вспомогательный раздел

- содержание учебного материала;
- требования к курсовому проекту;
- список литературы

Пояснительная записка

Цели данного ЭУМК – повышение эффективности организации учебного процесса с использованием дистанционных технологий; представление возможности студентам заниматься самообразованием, пользуясь комплектом учебно-методических материалов по курсу «Производство, транспорт и потребление тепловой энергии».

ЭУМК содержит четыре раздела: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный раздел. В теоретическом разделе представлен лекционный материал в соответствии с основными разделами и темами учебной программы. Практический раздел включает задания для проведения практических занятий. Раздел контроля знаний включает экзаменационные вопросы. Вспомогательный раздел содержит основные разделы учебной программы дисциплины и список рекомендуемой литературы.

Материалы учебно-методического комплекса представлены в формате *PDF*. Учебные материалы структурированы по разделам. Предусматривается навигация по разделам, что обеспечивает возможность быстрого поиска требуемой информации.

Открытие ЭУМК производится посредством запуска файла *Proizvodstvo_transport_potreblenie_TE.pdf*.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	5
Раздел I. Введение	5
Тема 1.1. Тепловая энергия и ее значение	5
Раздел II. Потребление тепловой энергии	7
Тема 2.1. Тепловое потребление	7
Тема 2.2. Коммунально-бытовые тепловые потребители	11
Тема 2.3. Определение коммунально-бытовых тепловых нагрузок.....	19
Тема 2.4. Годовой расход теплоты	28
Раздел III. Системы теплоснабжения	32
Тема 3.1. Системы теплоснабжения	32
Тема 3.2. Тепловые пункты	34
Тема 3.3. Схемы абонентских вводов	43
Тема 3.4. Регулирование отпуска теплоты.....	53
Тема 3.5. Температурные графики	60
Раздел IV. Транспорт тепловой энергии	64
Тема 4.1. Устройство тепловых сетей	64
Тема 4.2. Гидравлический расчет теплопроводов	70
Тема 4.3. Тепловая изоляция теплопроводов	75
Тема 4.4. Тепловой расчет теплопроводов	80
Раздел V. Производство тепловой энергии.....	87
Тема 5.1. Производство тепловой энергии из органического топлива	87
Тема 5.2. Производство тепловой энергии из ядерного горючего	90
Тема 5.3. Производство тепловой энергии за счет ВИЭ	92
Тема 5.4. Производство тепловой энергии из отходов	95
Раздел VI. Источники теплоснабжения	98
Тема 6.1. Источники теплоты систем централизованного теплоснабжения ...	98
Тема 6.2. Тепловые электрические станции	102
Тема 6.3. Совместная выработка тепловой и электрической энергии	111
Тема 6.4. Газотурбинные установки	120
Тема 6.5. Децентрализованное теплоснабжение	124
РАЗДЕЛ VII. Вопросы охраны труда при теплоснабжении	132
ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	133
Работа № 1. Выбор климатических данных.....	133
Работа № 2. Определение расходов теплоты жилого квартала	134
Работа № 3. Определение годового расхода теплоты	134
Работа № 4. Построение годовых графиков тепловой нагрузки	135

Работа № 5. Выбор метода регулирования и схемы абонентского ввода в закрытых системах теплоснабжения.....	136
Работа № 6. Построение графиков температур сетевой воды	136
Работа № 7. Определение расчетных температур теплоносителя.....	137
Работа № 8. Определение расчетного расхода теплоносителя.....	137
Работа № 9. Определение диаметра трубопроводов и потерь давления на участках тепловой сети.....	138
Работа № 10. Тепловой расчет тепловых сетей, проложенных бесканально .	138
Работа № 11. Выбор основного оборудования ТЭЦ	140
Работа № 12. Описание принципиальной схемы отпуска тепловой энергии от паротурбинной установки	140
РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	141
Экзаменационные вопросы.....	141
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....	143
Содержание учебного материала	143
Требования к курсовому проекту	146
Список рекомендуемой литературы.....	146

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Конспект лекций

Раздел I. Введение

Тема 1.1. Тепловая энергия и ее значение

Энергетика — одна из ведущих отраслей народного хозяйства нашей страны, совокупность больших естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования, распределения и использования энергетических ресурсов всех видов. Её целью является обеспечение производства энергии путём преобразования первичной, природной энергии во вторичную, например, в электрическую или тепловую энергию.

Основными составляющими энергетики являются электро- и теплоэнергетика.

Электроэнергетика — это подсистема энергетики, охватывающая производство электроэнергии на электростанциях и её доставку потребителям по линии электропередачи. Центральными её элементами являются электростанции, которые принято классифицировать по виду используемой первичной энергии и виду применяемых для этого преобразователей. Электроэнергетику принято делить на традиционную и нетрадиционную.

Теплоэнергетика — отрасль энергетики и теплотехники, занимающаяся преобразованием теплоты в другие виды энергии, главным образом в механическую и через неё в электрическую.

Энергетические ресурсы — это все источники разнообразных видов энергии, доступные для промышленного и бытового использования в энергетике. Энергетические ресурсы делятся на невозобновляемые, возобновляемые и ядерные.

Энергетический баланс (энергобаланс) — это баланс добычи, переработки, транспортировки, преобразования, распределения и потребления энергетических ресурсов и энергии в народном хозяйстве от источника их получения до использования энергии потребителем; выражает количественное соответствие между расходом и приходом энергии, включая изменение запасов энергетических ресурсов. Приходная часть энергетического баланса — данные о добыче энергетических ресурсов; расходная — показывает производство энергии различных видов и её распределение между потребителями.

Сводные энергетические балансы, балансы отдельных видов топлива и энергии, показатели, характеризующие потребление топливно-энергетических ресурсов в Республике Беларусь, за ряд лет представляются в статистических сборниках, которые выпускаются ежегодно Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) является важнейшей структурной составляющей национальной экономики, включает системы добычи, транспорта, хранения, производства и распределения основных видов энергоносителей: природного газа, нефти и продуктов ее переработки, твердых видов топлива, электрической и тепловой энергии.

В ТЭК Беларуси выделяют топливную промышленность (нефтяную, газовую, торфяную) и электроэнергетическую промышленность. ТЭК имеет развитую производственную инфраструктуру, включая сеть нефтепроводов и газопроводов, в том числе магистральных, а также высоковольтные линии электропередач.

Энергия является единой мерой различных форм движения материи и мерой перехода движения материи из одних форм в другие. Существует много видов энергии (механическая, электрическая, ядерная, тепловая и др.), большинство из которых используются в энергетике и различных современных технологиях.

Тепловая энергия – форма энергии, связанная с движением атомов, молекул или других частиц, из которых состоит тело. По сути – это энергия механических колебаний структурных элементов вещества или внутренняя энергия.

Единицей измерения тепловой энергии в системе СИ является **Джоуль**. Калория (кал) – внесистемная единица количества работы и энергии.

Соотношение между единицами: **1 кал = 4,187 Дж**.

Мощность – энергия, отнесенная к единице времени: **Вт = Дж/с**.

В технике **под тепловой энергией** обычно понимается теплота, которую можно передать различным телам или средам (теплоносителям). Существует три способа передачи теплоты: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение. Тепловая энергия – энергетический ресурс, при потреблении которого изменяются термодинамические параметры теплоносителей (температура, давление). Тепловая энергия (сжигание топлива) лежит в основе электроэнергетики. Тепловая энергия – один из основных видов энергии, используемой для обеспечения необходимых условий жизнедеятельности человека (теплоснабжение) и в технологических процессах на производстве.

Раздел II. Потребление тепловой энергии

Тема 2.1. Тепловое потребление

Различают основные **направления использования** тепловой энергии, получаемой из первичных источников энергии:

- **энергетическое** – теплота в тепловых двигателях преобразуется в механическую работу – на тепловых электростанциях; на транспорте в двигателях внутреннего сгорания;

- **технологическое** (непосредственное) – теплота служит для направленного изменения свойств различных тел – для технологических нужд промпредприятий и в системах теплоснабжения.

Теплоснабжение – снабжение теплом различных зданий и сооружений с целью обеспечения технологических и коммунально-бытовых нужд потребителя. Тепловая энергия в виде теплоносителя от источника теплоснабжения подается потребителям по тепловым сетям.

Теплоноситель – жидкое или газообразное вещество, применяемое для передачи тепловой энергии. Теплоносителями в системах теплоснабжения могут быть следующие вещества.

Вода широко используется в качестве теплоносителя, особенно для отопления. К преимуществам воды как теплоносителя следует отнести ее высокую плотность, удельную теплоемкость, сравнительно низкую вязкость, высокие значения коэффициента теплоотдачи, низкую химическую активность, нетоксичность, дешевизну и доступность, возможность регулирования уровня температуры. Недостатком воды является ограниченный верхний уровень температуры (при обычно используемых на производстве давлениях до 150 °С). Подогрев воды осуществляется в специальных водогрейных котлах, в нагревательных установках, ТЭЦ и котельных. Горячую воду, как правило, транспортируют по трубопроводам на расстояния до 20 км. При этом снижение температуры воды в хорошо теплоизолированном трубопроводе не превышает 1 °С на 1 км.

Водяной пар – самый распространенный теплоноситель для производственных целей. Его преимуществами являются высокая теплота парообразования, высокие значения коэффициента теплоотдачи при кипении воды и при конденсации пара, возможность поддержания постоянного режима теплоиспользующего оборудования благодаря постоянству температуры при конденсации, нетоксичность, доступность. Водяной пар имеет сравнительно невысокую вязкость и приемлемую плотность. Основным его недостатком является ограниченный верхний предел температуры. Для повышения температуры насыщенного пара необходимо значительно повышать давление. Транспортировку пара осуществляют, как правило, на расстояния до 5 км.

Топочные газы используют в качестве греющего теплоносителя в большинстве случаев на месте их получения для непосредственного нагревания материалов и изделий, качество которых не зависит от загрязнения продуктами сгорания. Преимуществом топочных газов является возможность их получения непосредственно у аппаратов, теплоснабжение которых они обеспечивают. При этом отпадает необходимость в теплотрассе, промежуточных теплообменниках, уменьшается металлоемкость теплоиспользующего оборудования. Применение топочных газов позволяет достичь любого практически необходимого уровня температуры и тем самым повысить производительность тепло-технологических установок. К недостаткам топочных газов следует отнести их низкую плотность и теплоемкость, низкие значения коэффициента теплоотдачи, способность загрязнять поверхность теплообмена, пожароопасность, токсичность.

Горячий воздух в технологии текстильного производства используют для сушки материалов, где он служит для доставки теплоты к материалу и уноса испарившейся влаги. К преимуществам горячего воздуха относятся его нетоксичность и доступность. В связи с этим он, как правило, в конце цикла выбрасывается непосредственно в атмосферу. Недостатками воздуха как теплоносителя являются низкие плотность и удельная теплоемкость, низкие значения коэффициента теплоотдачи. Перечисленные недостатки затрудняют процесс теплообмена, а также ограничивают расстояние возможной транспортировки воздуха.

Высокотемпературные теплоносители используют тогда, когда температурный уровень подвода теплоты в теплоиспользующей установке не может быть обеспечен перечисленными выше теплоносителями. Повышение температуры применяют в тех случаях, когда необходимо увеличить скорость протекания физико-химических процессов в технологических аппаратах. Ряд процессов без использования повышенных температур просто невозможно осуществить. Примером такого процесса может служить выпаривание высококипящих растворов. Все высокотемпературные теплоносители в большей или меньшей степени токсичны. Некоторые из них, например глицерин, не являются токсичными при комнатных температурах, но при повышенной температуре разлагаются на токсичные соединения. Использование высокотемпературных теплоносителей предъявляет повышенные требования к герметичности теплообменной аппаратуры, трубопроводов, арматуры, надежности уплотнительных устройств.

Основными параметрами теплоносителей являются **температура и давление (напор)**. Связь между давлением и напором:

$$P = \rho gH,$$

где P – давление, Па; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – напор, м.

Мощность теплового потока, Вт, отдаваемого водой:

$$Q = G c (\tau_1 - \tau_2),$$

где G – количество воды (массовый расход), проходящей через систему теплоснабжения, кг/с; c – удельная теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/(кг·°С); τ_1 – температура воды (прямой) до системы теплоснабжения, °С; τ_2 – температура воды (обратной) после системы теплоснабжения, °С.

Объемный расход перекачиваемой воды, м³/с:

$$V = G/\rho,$$

где G – массовый расход воды, кг/с; ρ – плотность воды, кг/м³.

Тепловое потребление (теплоснабжение) – это использование в теплоиспользующих установках тепловой энергии, доставляемой теплоносителем, для производственных и бытовых нужд.

Различают **5 видов теплового потребления**: отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, горячее водоснабжение и технологические процессы.

Отопление – искусственный обогрев помещений с целью возмещения в них тепловых потерь и поддержания на заданном уровне температуры, определяемой санитарными нормами.

Вентиляция – обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных и других веществ с целью обеспечения допустимых параметров микроклимата и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне.

Кондиционирование воздуха – автоматическое поддержание в закрытых помещениях параметров (кондиций) воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) с целью обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса, обеспечения сохранности ценностей культуры.

Горячее водоснабжение – обеспечение тепловой энергией в виде подогретой воды питьевого качества для удовлетворения санитарно-гигиенических потребностей населения и других потребителей.

Технологические нужды – расход тепловой энергии на технологические процессы для производства товаров, работ, услуг, осуществления иной деятельности в установленном законодательном порядке.

К **круглогодичным потребителям** относятся горячее водоснабжение и технологические нужды – тепловая энергия расходуется непрерывно в течение года и мало зависит от температуры наружного воздуха. Характеризуются переменным графиком тепловых нагрузок в течение суток и сравнительно постоянным графиком в течение года.

К **сезонным потребителям** относятся тепловые нагрузки на отопление и вентиляцию – зависят от температуры наружного воздуха и других климатических условий района теплоснабжения (солнечной радиации, скорости ветра, влажности воздуха) и используются в течение отопительного периода. Характеризуются сравнительно постоянным графиком тепловых нагрузок в течение суток и резкопеременным графиком в течение года.

Различают три характерные **группы потребителей** системы теплоснабжения в зависимости от соотношения и режимов отдельных видов теплового потребления:

- **жилые здания** – характерны сезонные расходы теплоты на отопление, вентиляцию и круглогодичный расход теплоты на горячее водоснабжение. В жилых зданиях, как правило, не устраивают специальной приточной вентиляции, свежий воздух поступает в помещение через форточки окон и неплотности в наружных ограждениях. Подогрев вентиляционного воздуха в этом случае возлагается на систему отопления.

- **общественные здания** – основное значение имеют сезонные расходы теплоты на отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

- **промышленные здания и сооружения** (в т.ч. сельскохозяйственные) – обычно имеются все виды теплового потребления, количественное соотношение между которыми определяется видом основного производства. Некоторые общественно-коммунальные предприятия (бани, прачечные и т.п.) по характеру потребления следует рассматривать как производственные объекты.

Потребители тепловой энергии на промышленных предприятиях также подразделяются на технологические, отопительно-вентиляционные и санитарно-технические (горячего водоснабжения).

Технологическое потребление тепловой энергии. Для производственного теплоснабжения применяются пар и горячая вода. Потребителями пара являются варочные котлы, сушилки, выпарные установки, подогреватели продукта, а также паровые молоты, прессы и приводы. Давление пара, применяемого для различных производственных процессов, колеблется в пределах от 0,2 до 4,0 МПа. Горячая вода на промышленных предприятиях используется для выпаривания, сушки, нагревания и отмывки материалов. Температура горячей воды для различных производственных процессов составляет от 20-30 до 180-200° С.

Суточные графики расхода теплоты промышленными объектами зависят от характера технологического процесса, сменности работы предприятия, масштабов производства и др. Точные данные для составления графиков могут быть получены технологами на основании соответствующих расчетов или в результате испытаний оборудования на действующих предприятиях. При отсутствии данных о теплопотреблении предприятия пользуются удельными расходами теплоты (в паре и горячей воде) на технологические

цели. Эти нормативные данные даются на единицу продукции в штучном или ценностном выражении.

Удельные расходы теплоты могут быть использованы только для ориентировочной оценки теплопотребления и как контрольные данные для проверки проектных расчетов расхода теплоты на технологические нужды.

Теплопотребление на технологические нужды носит круглогодичный характер и теоретически не зависит от сезона года. Однако в летний период имеет место снижение расхода теплоты предприятиями за счет уменьшения теплопотерь, снижение расхода теплоты на различные обогревы, повышение температуры сырья и др.

По дням недели (кроме выходных дней) тепловая нагрузка предприятия меняется незначительно.

Тема 2.2. Коммунально-бытовые тепловые потребители

Характеристика систем отопления

Отопление — искусственный обогрев помещений с целью возмещения в них теплопотерь и поддержания на заданном уровне температуры, отвечающей условиям теплового комфорта и/или требованиям технологического процесса.

Система отопления — это совокупность конструктивных элементов со связями между ними, предназначенных для получения, переноса и передачи теплоты в обогреваемые помещения здания.

Основные конструктивные элементы системы отопления (рис. 2.1):

теплоисточник (теплообменник при централизованном теплоснабжении) — элемент для получения теплоты;

теплопроводы — элемент для переноса теплоносителем теплоты от теплоисточника к отопительным приборам;

отопительные приборы — элемент для передачи теплоты в помещение.

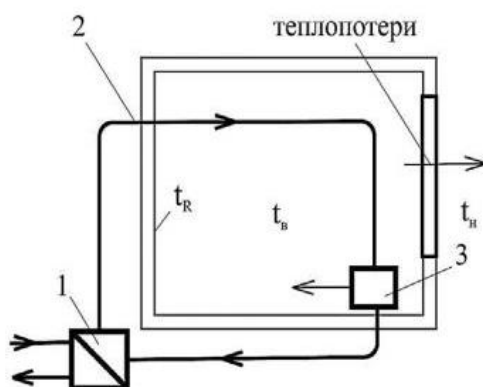


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема системы отопления: 1 – источник теплоты; 2 – теплопроводы; 3 – отопительный прибор

Система отопления должна обладать определенной тепловой мощностью. Расчетная **тепловая мощность** системы выявляется в результате составления теплового баланса в обогреваемых помещениях при температуре наружного воздуха, называемой **расчетной** ($t_{н.р}$). В течение отопительного сезона расчетная тепловая мощность должна использоваться частично в зависимости от изменения теплопотерь помещений при текущем значении температуры наружного воздуха и только при расчетной температуре $t_{н.р}$ – полностью. Поэтому теплоперенос к отопительным приборам в течение отопительного сезона должен изменяться в широких пределах. Этого можно достичь за счет изменения (**регулирования**) температуры и количества теплоносителя, перемещающегося в системе отопления. Также должны регулироваться затраты топлива в теплоисточнике.

По расположению основных элементов системы отопления подразделяются на местные и центральные.

Местными системами отопления называют такой вид отопления, при котором все три основных элемента конструктивно объединены в одном устройстве, установленном в обогреваемом помещении. (пример печь, газовые и электрические приборы, воздушно-отопительные агрегаты).

Центральными называют системы отопления, предназначенные для отопления нескольких помещений из одного теплового пункта, где находится теплогенератор (котельная, ТЭЦ).

Нормативные требования к системам отопления (отопительные приборы, вид теплоносителя, предельная температура теплоносителя или теплоотдающей поверхности) в зависимости от назначения помещений приведены в СН 4.02.03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

Характеристика систем вентиляции

Вентиляция – организованный воздухообмен, в процессе которого запыленный, загрязненный газами или сильно нагретый воздух удаляется из помещения и взамен него подается свежий, чистый.

Система вентиляции – это комплекс архитектурных, конструктивных и специальных инженерных решений, который при правильной эксплуатации обеспечивает необходимый воздухообмен в помещении.

Системы вентиляции создают условия для обеспечения технологического процесса или поддержания в помещении заданных климатических условий для высокопродуктивной работы человека. В первом случае система вентиляции будет называться **технологической**, а во втором – **комфортной**.

Подробную информацию о технических решениях по применению видов вентиляции и о требованиях к проектированию систем вентиляции можно найти в СН 4.02.03-2019.

По способу создания давления для перемещения воздуха – по способу перемещения удаляемого из помещений и подаваемого в помещения воздуха различают вентиляцию **естественную** (неорганизованную и организованную) и **механическую** (искусственную).

Механической или искусственной вентиляцией называется способ подачи воздуха в помещение или удаления из него с помощью вентилятора. Системы вентиляции, обеспечивающие подачу в помещение наружного воздуха, **подогреваемого в холодный период года**, называются **приточными** (рис. 2.2).

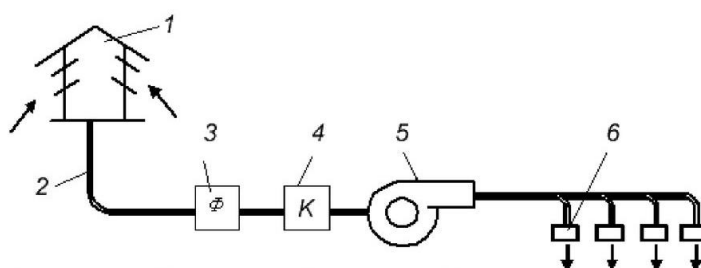


Рисунок 2.2 – Приточная вентиляция: 1 – воздухозаборное устройство для забора чистого воздуха; 2 – воздуховод, по которому чистый воздух подается в помещение; 3 – фильтр для очистки воздуха от пыли; 4 – калорифер для нагрева воздуха; 5 – вентилятор; 6 – приточные насадки

В настоящее время в общественных и производственных зданиях устраивают преимущественно механическую вентиляцию, в которой воздух перемещается по сети воздуховодов и другим элементам системы с помощью **осевых и радиальных (центробежных) вентиляторов**, приводимых в действие электродвигателями (рис. 2.3).

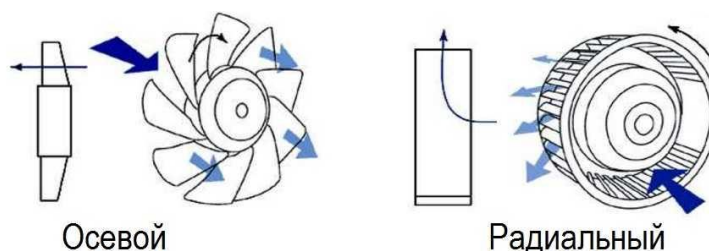


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема вентиляторов

Системы механической вентиляции более сложны в конструктивном отношении, но имеют ряд преимуществ. К основным их достоинствам относятся: независимость от температурных колебаний наружного воздуха и его давления, а также скорости ветра; подаваемый и удаляемый воздух можно

перемещать на значительные расстояния; воздух, подаваемый в помещение, можно обрабатывать (**нагревать** или охлаждать, очищать, увлажнять и осушать). Вследствие этого механическая вентиляция получила весьма широкое применение, особенно в промышленности.

Калориферы – приборы для подогрева воздуха, подаваемого в помещение (рис. 2.4). Принцип работы основан на продувании воздуха через систему нагревателей с водяным или паровым теплоносителем (как в системе воздушного отопления).

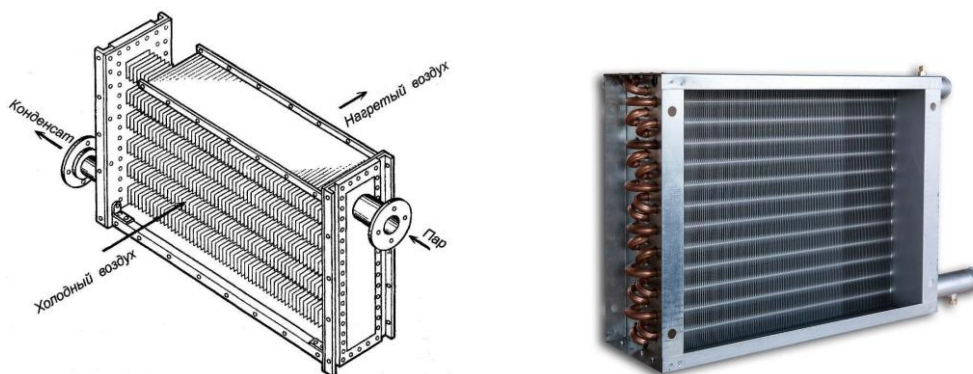


Рисунок 2.4 – Калорифер

Вентиляционная приточная камера работает следующим образом (рис. 2.5).

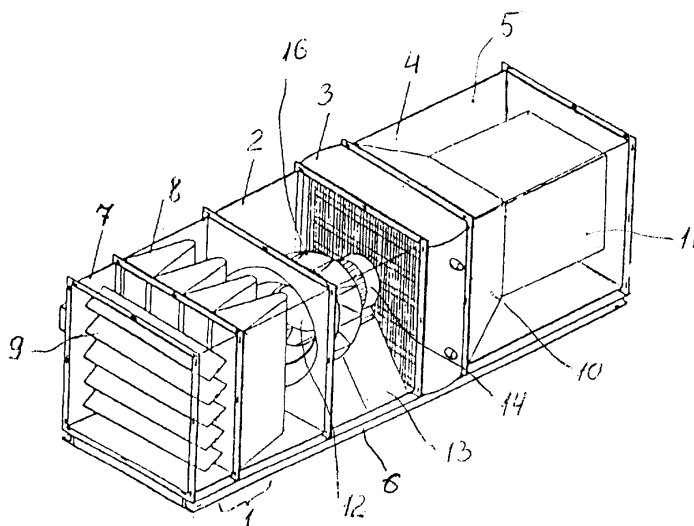


Рисунок 2.5 – Вентиляционная приточная камера: 1 – блок входного устройства, 2 – блок вентилятора, 3 – блок кондиционирования (калорифер или охладитель); 4 – блок глушителя шума; 5 – панель из звукотеплоизолирующего материала; 6 – рама соединения; 7 – входной канал; 8 – фильтр; 9 – жалюзи для перекрытия канала; 10 – акустический канал с перфорированными звукопоглощающими стенками 11; 12 – вентилятор; 13 – опора электропривода; 14 – электродвигатель; 16 – рабочее колесо вентилятора

Через входной блок 1 канальным вентилятором 12 засасывается воздух, который очищается воздушным фильтром 8 и приобретает требуемые параметры (нагревается) в блоке 3 кондиционирования.

Характеристика систем кондиционирования воздуха

Кондиционирование воздуха — это создание и автоматическое поддержание (регулирование) в закрытых помещениях всех или отдельных параметров (температуры, влажности, чистоты, скорости движения воздуха) на определенном уровне с целью обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей или ведения технологического процесса.

В состав **системы кондиционирования воздуха** входят технические средства забора воздуха, подготовки, т. е. придания необходимых кондиций (фильтры, теплообменники, увлажнители или осушители воздуха), перемещения (вентиляторы) и его распределения, а также средства хладо- и теплоснабжения, автоматики, дистанционного управления и контроля. Основное оборудование системы кондиционирования для подготовки и перемещения воздуха конструируется в едином корпусе в аппарат, называемый **кондиционером**.

Современные системы кондиционирования могут быть классифицированы по следующим признакам:

- по основному назначению (объекту применения): комфортные и технологические;
- по принципу расположения кондиционера по отношению к обслуживаемому помещению: центральные и местные;
- по наличию собственного (входящего в конструкцию кондиционера) источника тепла и холода: автономные и неавтономные;
- по принципу действия: прямоточные, рециркуляционные и комбинированные;
- по степени обеспечения метеорологических условий в обслуживаемом помещении: первого, второго и третьего класса;
- по количеству обслуживаемых помещений (локальных зон): однозональные и многозональные;
- по давлению, развиваемому вентиляторами кондиционеров: низкого, среднего и высокого давления.

Характеристика систем горячего водоснабжения

Горячее водоснабжение (ГВС) – снабжение горячей водой жилых домов, коммунальных и промышленных предприятий для бытовых и производственных нужд, а также комплекс оборудования и устройств, которые его обеспечивают.

Горячая вода систем ГВС может расходоваться на **санитарно-бытовые нужды** в зданиях всех групп (мытьё посуды, стирка белья, для душей, ванн; для обогрева ванных комнат с помощью полотенцесушителей), а в производственных помещениях – также и на **технологические нужды**.

Системы горячего водоснабжения – это комплекс инженерных устройств для приготовления; аккумуляции и подачи воды к потребителю.

Требования к качеству воды для горячего водоснабжения. Качество горячей воды, подаваемой в систему горячего водоснабжения, должно отвечать требованиям:

СТБ 1188-99 Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества.

СанПиН 10-124 РБ 99 Санитарные правила и нормы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Температуру горячей воды в местах водоразбора следует предусматривать не ниже 50 °С (60 °С) – для систем централизованного горячего водоснабжения, присоединяемым к закрытым (открытым) системам теплоснабжения и не выше 75 °С – для всех категорий систем горячего водоснабжения.

Горячая вода, используемая для хозяйственно-бытовых целей, должна иметь температуру 25-40 °С для санитарно-гигиенических процедур и 40-60 °С для мытья посуды, стирки и пр., поэтому наименьшая температура в системе у потребителя принимается равной 50 °С. В помещениях дошкольных детских учреждений температура горячей воды, подаваемой к водоразборной арматуре душей и умывальников, не должна превышать 37 °С. Температура, необходимая для нужд населения, получается путем смешивания горячей и холодной воды в смесительной арматуре.

Наибольшее значение температуры воды принято ограничивать по двум причинам: с целью предохранения населения от ожогов и ввиду резкого усиления накипеобразования в оборудовании и трубопроводах при увеличении температуры воды свыше 75 °С.

Для получения воды более высокой температуры (например, на предприятиях общественного питания) для подогрева воды используются специальные местные установки, такие, как кипятильники, которые в обязательном порядке доводят температуру воды до 100 °С.

При нагревании воды выше 40 °С начинается выпадение углекислых солей **кальция** и **магния** (временная жесткость воды) на внутренних стенках труб теплообменного оборудования, что уменьшает проходное сечение и снижает теплопередачу. Кроме того, высокая температура воды интенсифицирует агрессивное воздействие коррозии на стальные трубы и оборудование. Коррозия активизируется под влиянием свободного кислорода и углекислого газа, растворенных в воде.

Качество и температура воды, подаваемой на производственные нужды, определяется технологическими требованиями.

Системы горячего водоснабжения подразделяются по ряду признаков.

По радиусу и сфере действия они делятся на местные и централизованные.

Местные системы малой производительности обычно устраивают в небольших зданиях, обслуживают одну квартиру или небольшую группу потребителей (рис. 2.6).

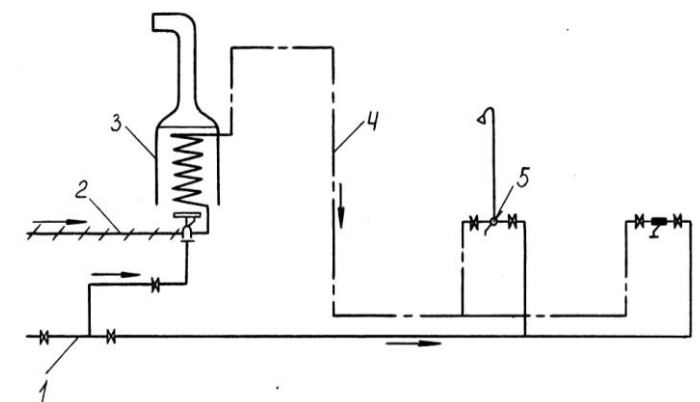


Рисунок 2.6 – Местная установка горячего водоснабжения с газовым водонагревателем:
1 – подача холодной воды; 2 – газопровод; 3 – водонагреватель;
4 – трубопровод горячей воды; 5 – смеситель

Горячую воду готовят на месте ее потребления в водонагревателях, установленных непосредственно в местах потребления воды (ванны, души, мойки, производственные агрегаты) и обогреваются сжигаемым топливом или электроэнергией. Эти установки являются периодически действующими и требуют значительных затрат времени и труда на их обслуживание. Вода из системы холодного водопровода подается в местный водонагреватель, где происходит подогрев воды. Горячая вода по распределительной сети поступает к потребителю (т.е. в водоразборный прибор – краны, смесители т.п.). Местные установки используются при отсутствии источников централизованного снабжения теплотой.

Централизованные системы горячего водоснабжения устраивают при наличии мощных источников тепла (ТЭЦ, районные котельные и т. д.). Воду готовят в одном центре, из которого она транспортируется по трубам (тепловым сетям) к потребителям. Приготовление горячей воды производится как в самих источниках тепла, так и в центральных тепловых пунктах (ЦТП) или же непосредственно в домах в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП).

Централизованное ГВС может осуществляться по **закрытой схеме**, когда водопроводная вода нагревается в теплообменниках (водонагревателях), устанавливаемых в тепловых пунктах. Нагрев производится теплоносителем, поступающим по тепловым сетям от источника теплоснабжения (рис. 2.7, а).

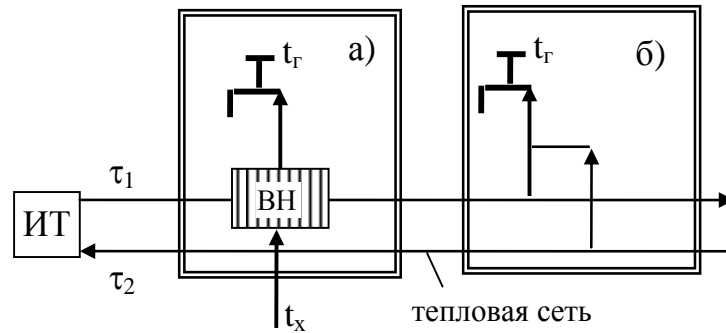


Рисунок 2.7 – Системы центрального горячего водоснабжения: закрытая (а) и открытая (б); ИТ – источник теплоснабжения; ВН – водонагреватель

В **открытой системе** на водоразбор поступает вода непосредственно из тепловой сети, т.е. сам теплоноситель от источника теплоснабжения (рис. 2.7, б). При этом отпадает необходимость установки водонагревателей в домах или на ЦТП и уменьшается возможность коррозии местных трубопроводов. Однако для подпитки таких систем (восполнения водоразбора и утечек) требуется большое количество воды, прошедшей предварительную обработку во избежание накипи и коррозии в трубах и оборудовании теплоснабжающих устройств. Требуется мощная система химводоочистки (ХВО) на источнике теплоснабжения.

В общем виде система горячего водоснабжения состоит из тех же элементов, что и система холодного водоснабжения. Отличие состоит в том, что дополнительно включаются в систему устройства для приготовления теплоносителя, подачи его к водонагревателям, обратный трубопровод теплоносителя, необходимый для циркуляции сети теплоносителя для обеспечения относительного постоянства температуры теплоносителя, распределительной сети системы горячего водоснабжения (рис. 2.8).

Централизованные системы горячего водоснабжения нашли наиболее широкое применение во всех типах зданий. Для потребителей централизованные системы горячего водоснабжения более просты и гигиеничны. Получение горячей воды потребителям доступней, чем при подогреве воды в местных установках. Однако центральные системы горячего водоснабжения имеют ряд недостатков, а именно: необходима сложная служба эксплуатации городского теплоснабжения; требуется значительно более высокая культура технического обслуживания трубопроводных систем, работающих при высоких давлениях и высоких температурах; транспортировка теплоносителя на большие расстояния сопровождается большими тепловыми потерями.

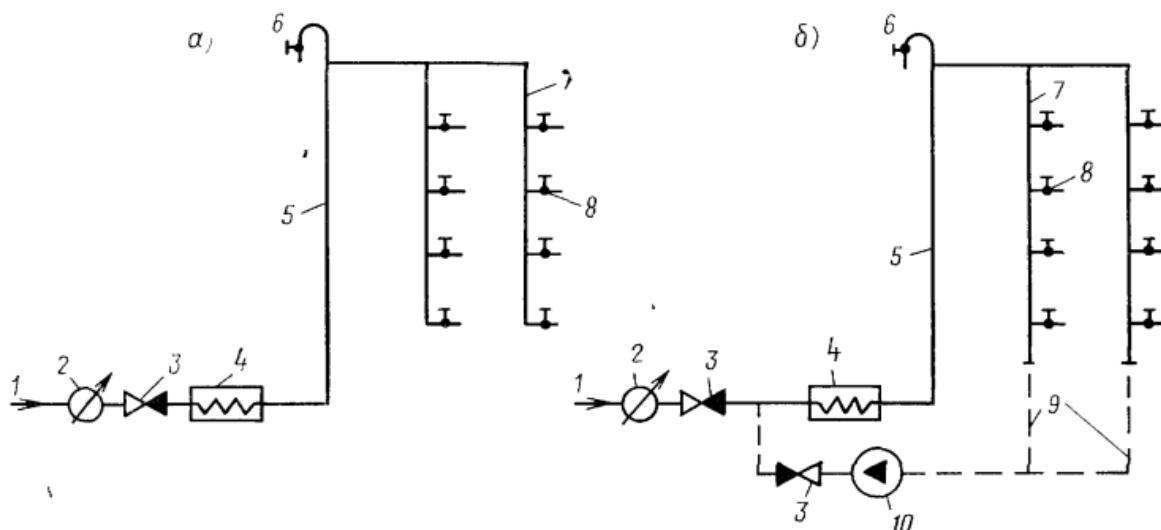


Рисунок 2.8 – Принципиальные схемы тупиковой (а) и циркуляционной (б) систем горячего водоснабжения: 1 – водопровод; 2 – водомер; 3 – обратный клапан; 4 – водоподогреватель (теплообменник); 5 – основной стояк; 6 – воздушник; 7 – водоразборный стояк; 8 – водоразборные краны; 9 – циркуляционные трубопроводы; 10 – циркуляционный насос

Тема 2.3. Определение коммунально-бытовых тепловых нагрузок

Потребителей, получающих теплоту от систем теплоснабжения, называют **абонентами** этой системы, а расходуемую абонентами теплоту – **тепловой нагрузкой**. **Тепловая нагрузка** – количество тепловой энергии, которое может быть принято (использовано) потребителем тепловой энергии за единицу времени ($Вт = Дж/с$). Тепловую нагрузку по различным видам теплового потребления можно определить как для отдельно стоящего здания, так и для жилого района в целом. В зависимости от имеющихся в наличии исходных данных по объекту используются различные **методы расчетов** тепловых нагрузок: по проектным материалам и по укрупненным показателям.

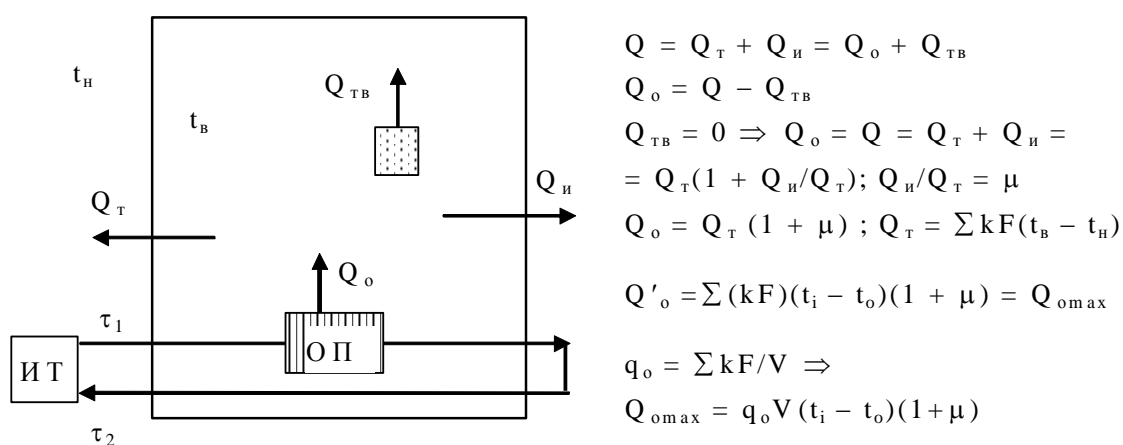
Для получения данных о расходах теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение существующими объектами в первую очередь следует обращаться к **проектным материалам**. Они считаются наиболее достоверными – отражают действительные условия возведения здания (материалы и толщины стен, число и размеры окон и дверей, высоту этажей, технологию строительства и прочее). Для действующих теплоустановок (например, сантехнического оборудования) используют **эксплуатационные данные**, для производственных процессов – учитывают реальные расходы теплоты на технологию.

В случае отсутствия проектной документации и эксплуатационных данных, а также невозможности подбора подходящего аналога для ориентировочных расчетов можно использовать **укрупненные показатели** –

показатели, которые разрабатывают с учетом аналогичных проектов и данных эксплуатации подобного оборудования. Степень укрупнения таких показателей может быть различной. Наименьшей степенью укрупнения, а значит наибольшей точностью, обладают показатели по отдельным зданиям. В процессе эксплуатации значения расчетных тепловых нагрузок корректируют по действительным расходам теплоты. Это дает возможность с течением времени установить проверенную тепловую характеристику для каждого потребителя.

Определение тепловых нагрузок на отопление. В помещении при разности температур наружного и внутреннего воздуха возникает тепловой поток изнутри помещений наружу, т.е. возникают тепловые потери через ограждающие конструкции. Под действием разности давлений наружного и внутреннего воздуха наблюдается инфильтрация наружного воздуха в помещение – через неплотности наружных ограждений в помещение поступает холодный воздух. В помещении могут происходить тепловыделения за счет внутренних источников.

Основная задача отопления – поддержание внутренней температуры помещения на заданном уровне. Для этого необходимо сохранение равновесия между тепловыми потерями здания и теплопритоком (рис. 2.9).



$$Q = Q_T + Q_{и} = Q_o + Q_{ТВ}$$

$$Q_o = Q - Q_{ТВ}$$

$$Q_{ТВ} = 0 \Rightarrow Q_o = Q = Q_T + Q_{и} =$$

$$= Q_T(1 + Q_{и}/Q_T); Q_{и}/Q_T = \mu$$

$$Q_o = Q_T(1 + \mu); Q_T = \sum kF(t_b - t_n)$$

$$Q'_o = \sum (kF)(t_i - t_o)(1 + \mu) = Q_{omax}$$

$$q_o = \sum kF/V \Rightarrow$$

$$Q_{omax} = q_o V(t_i - t_o)(1 + \mu)$$

Рисунок 2.9 – К определению тепловых нагрузок на отопление: ИТ – источник теплоснабжения; ОП – отопительный прибор

Условие теплового баланса выражается равенством:

$$Q = Q_T + Q_{и} = Q_o + Q_{ТВ},$$

где Q – суммарные тепловые потери здания;

Q_T – теплопотери теплопередачей через наружные ограждения;

$Q_{и}$ – теплопотери инфильтрацией;

Q_o – подвод теплоты в здание через систему отопления;

$Q_{ТВ}$ – внутренние тепловыделения.

Источником внутренних тепловыделений в гражданских зданиях обычно являются люди, бытовые тепловыделения, бытовая техника, осветительные приборы. Эти тепловыделения распределяются по зданию неравномерно и носят случайный характер и во времени не регулируются. В таких зданиях при расчетах тепловыделения часто не учитываются. В промышленных зданиях источниками тепловыделений являются тепловые и силовые установки и механизмы различного рода (печи, сушилки, двигатели и др.). Эти тепловыделения довольно устойчивы и часто составляют существенную долю расчетной отопительной нагрузки, поэтому они должны учитываться при разработке режима теплоснабжения промышленных районов.

При отсутствии внутренних тепловыделений ($Q_{\text{тв}} = 0$) мощность системы отопления равна суммарным теплотерям здания, которые в основном зависят от теплотерей теплопередачей через наружные ограждения $Q_{\text{т}}$:

$$Q_o = Q_{\text{т}} + Q_{\text{и}} = Q_{\text{т}}(1 + Q_{\text{и}}/Q_{\text{т}}) = Q_{\text{т}}(1 + \mu),$$

где $\mu = Q_{\text{и}}/Q_{\text{т}}$ – коэффициент инфильтрации – отношение теплотерей инфильтрацией к теплотерям теплопередачей через наружные ограждения.

Для ориентировочных расчетов значения μ можно принимать: 0,03...0,06 – для жилых и общественных зданий; 0,25...0,30 – для промышленных зданий; 0,15...0,30 – для сельскохозяйственных зданий.

Потери теплопередачей, Вт, через наружные ограждения:

$$Q_o = \sum kF(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})(1 + \mu),$$

где k – коэффициент теплопередачи наружных ограждения, Вт/(м²·°С);

F – площадь поверхности отдельных наружных ограждений, м²;

$t_{\text{в}}$ – усредненная (расчетная) температура внутреннего воздуха в отапливаемых помещениях, °С;

$t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, °С.

При этом необходимо иметь данные о конструкциях ограждений и их теплозащитных качествах. Теплозащитные качества ограждения характеризует величина **сопротивления теплопередаче** ограждения R , °С·м²/Вт, которое показывает падение температуры в градусах при прохождении через 1 м² ограждения теплового потока мощностью в 1 Вт. Сопротивление теплопередаче является величиной, обратной коэффициенту теплопередаче: $R = 1/k$.

На величину основных тепловых потерь $Q_{\text{т}}$ и $Q_{\text{и}}$ оказывают влияние такие факторы, как ориентация здания по сторонам света, обдувание его ветром, инсоляция, особенности строительной конструкции и др. Возникающие добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции принимают в долях от основных потерь, значения которых приведены в ТНПА.

Максимальные потери теплопередачей наблюдаются при минимальной температуре наружного воздуха, которая имеет кратковременный характер. Поэтому, чтобы исключить чрезмерное завышение мощности тепловых

установок, определение расхода теплоты на отопление производят по более высокому – **расчетному значению** наружной температуры для отопления t_o , равной средней температуре наиболее холодных пятидневок обеспеченностью 0,92.

Расчетными теплотерями или **расчетными тепловыми нагрузками** называют их значения при расчетной температуре наружного воздуха t_o . Для систем отопления расчетные значения совпадают с максимальными.

Расчетные параметры воздуха (наружного и внутреннего) приведены в ТНПА. При определении расчетного расхода теплоты на отопление значение температуры внутреннего воздуха принимают $t_v = t_i$, где t_i – усредненная расчетная температура внутреннего воздуха в отапливаемых помещениях.

С учетом расчетных температур внутреннего и наружного воздуха тепловая нагрузка на отопление определяется по формуле

$$Q_{\text{оmax}} = \sum kF(t_i - t_o)(1 + \mu),$$

где t_i и t_o – расчетные температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха, °С.

Этот метод определения тепловой нагрузки не сложен, но требует значительных затрат времени, т.к. в формулы входят величины, значения которых в основном приходится выбирать из справочной литературы с учетом проектных данных. Для упрощений расчетов вводят **укрупненный показатель** – потерю теплоты через наружные ограждения при разности внутренней и наружной температур 1 °С относят к 1 м³ наружного объема здания V:

$$q_o = \sum kF/V.$$

Эта величина называется **удельной теплотерей** здания (или **тепловой отопительной характеристикой** здания), q_o , Вт/(м³·К). Значения отопительной характеристики здания приведены в справочной литературе:

Тогда тепловая нагрузка на отопление с учетом отопительной характеристики здания может быть определена по формуле

$$Q_{\text{оmax}} = q_o V(t_i - t_o)(1 + \mu).$$

Определение тепловых нагрузок на вентиляцию. В жилых зданиях, как правило, имеет место естественная вентиляция с неорганизованным воздухообменом – проветриванием. При естественной вентиляции подача воздуха происходит через открывающиеся фрамуги в окнах, вентиляционно-световые фонари, удаление – через специальные вентиляционные каналы в стенах. Естественная вентиляция дешева и проста. Недостаток – приточный воздух поступает без подогрева и очистки, а удаляемый не очищается и загрязняет атмосферу. В общественных и промышленных зданиях предусматривается механическая (принудительная) вентиляция за счет работы вентиляционных агрегатов. При этом система вентиляции включает

оборудование и устройства для забора наружного воздуха, его обработки, транспортирования и раздачи по помещениям, а также для удаления отработавшего воздуха. В холодный и переходный периоды года чтобы не вызывать понижения внутренней температуры, свежий (приточный) воздух предварительно нагревают до внутренней температуры данного помещения. Нагревание приточного воздуха в системах механической вентиляции (рис. 2.10), как правило, осуществляется **калориферами** – гладкотрубчатыми или ребристыми теплообменными аппаратами с теплоносителем водой, паром, электроэнергией.

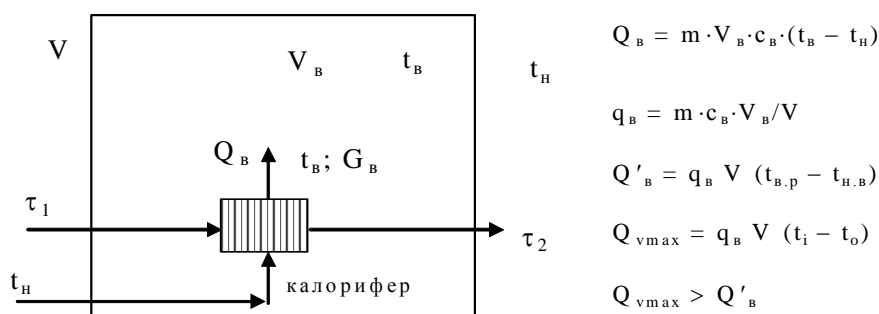


Рисунок 2.10 – К определению тепловых нагрузок на вентиляцию

Расхода теплоты на вентиляцию, Вт, определяется по формуле

$$Q_B = G_B \cdot c_B \cdot \Delta t = m \cdot V_B \cdot c_B \cdot (t_B - t_H),$$

где Q_B – расход теплоты на вентиляцию;

G_B – расход вентиляционного воздуха, м³/с;

c_B – объемная теплоемкость воздуха, равная 1,26 кДж/(м³·К);

m – кратность воздухообмена, $m = G_B / V_B$, 1/с;

V_B – вентилируемый объем здания, м³;

t_B – температура нагретого воздуха, подаваемого в помещение, °С;

t_H – температура наружного воздуха, °С.

Величина **кратности воздухообмена** зависит от назначения помещения и вентиляции (приточная или вытяжная), от интенсивности процесса загрязнения воздуха в помещении; ее значения приводятся в ТНПА и справочной литературе. При ориентировочных расчетах для упрощения расчета вводят укрупненный показатель – **удельный расход теплоты на вентиляцию** (**вентиляционная характеристика** здания), q_v , Вт/(м³·°С) – расход теплоты на 1 м³ вентилируемого здания по наружному обмеру и на 1 °С разности между усредненной расчетной температурой воздуха внутри вентилируемого помещения и температурой наружного воздуха:

$$q_B = m \cdot c_B \cdot V_B / V,$$

где V – наружный объем вентилируемого здания, м³.

Максимальная тепловая нагрузка на вентиляцию соответствует расчетной температуре наружного воздуха t_v для проектирования вентиляции, которая принимается равной средней температуре наружного воздуха холодного периода обеспеченностью 0,94:

$$Q_{vmax} = q_v V (t_i - t_v).$$

При температурах наружного воздуха ниже расчетной t_v тепловая нагрузка не изменяется, используется рециркуляция воздуха.

Определение тепловых нагрузок на горячее водоснабжение. Для всех расчетов по расходам теплоты горячего водоснабжения исходным является **средненедельный расход теплоты** (средненедельная тепловая нагрузка), Вт, бытового горячего водоснабжения, определяемый по формуле

$$Q_{hm} = \frac{1,2 \cdot m \cdot a \cdot (55 - t_x)}{n_c} \cdot c,$$

где a – норма расхода воды на ГВС при температуре 55°C на 1 потребителя, л/сут;

55 – температура горячей воды, $^\circ\text{C}$;

t_x – температура холодной воды, при отсутствии данных ее принимают 5°C в отопительный период и 15°C в летний период;

n_c – расчетная длительность подачи теплоты на горячее водоснабжение, с/сут (или смену);

$1,2$ – коэффициент, учитывающий остывание горячей воды в абонентских системах ГВС (циркуляционные и др. внутренние трубопроводы);

c – удельная теплоемкости воды, принимаемая в расчетах $4,187$ кДж/(кг $\cdot^\circ\text{C}$);

m – число потребителей.

Особенностью горячего водоснабжения является **неравномерность потребления** горячей воды (рис. 2.11), которую при определении тепловых нагрузок учитывают коэффициенты неравномерности.

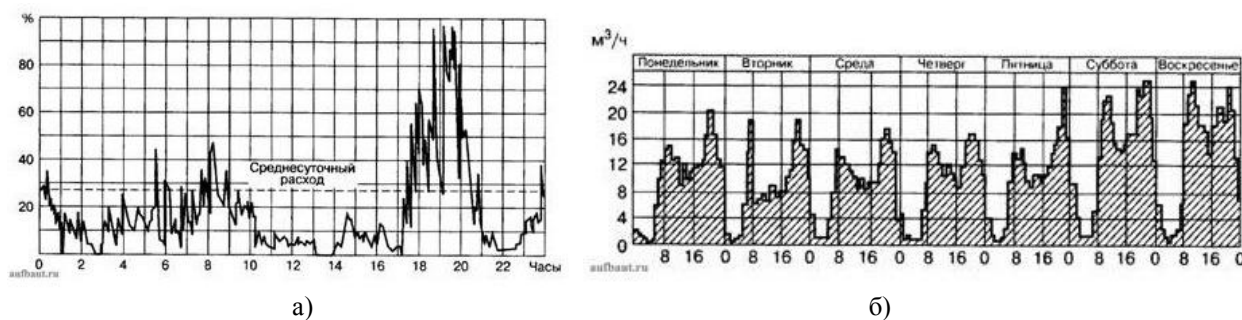


Рисунок 2.11 – Графики неравномерности потребления горячей воды:
суточный график расхода горячей воды в жилом доме (а);
график потребления горячей воды по часам суток и дням недели (б)

Коэффициент недельной неравномерности расхода теплоты k_n учитывает колебания суточных расходов горячей воды в пределах недели. При отсутствии опытных данных принимают для жилых и общ. зданий $k_n = 1,2$, для промышленных зданий и предприятий $k_n = 1$.

Коэффициент суточной неравномерности k_c расхода теплоты за сутки наибольшего водопотребления, учитывает колебания часовых расходов горячей воды в пределах суток. При ориентировочных расчетах принимаются городов и населенных пунктов $k_c = 1,7...2$, для промышленных зданий и предприятий $k_c = 1$.

С учетом коэффициентов неравномерности **расчетный (максимально-часовой)** расход теплоты, Вт, на бытовое горячее водоснабжением определяется по формуле

$$Q_{hmax} = k_n \cdot k_c \cdot Q_{hm}.$$

Определение тепловых нагрузок жилого района. Согласно нормам проектирования тепловых сетей расходы теплоты при отсутствии проектов отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий и сооружений определяются для:

– **предприятий** – по укрупненным ведомственным нормам либо по проектам аналогичных производств;

– **жилых районов** городов и других населенных пунктом – по формулам:

а) **максимальный** расход теплоты, Вт, на **отопление** жилых и общественных зданий

$$Q_{o\ max} = q_o A \cdot (1 + k_1);$$

б) **максимальный** расход теплоты, Вт, на **вентиляцию** общественных зданий

$$Q_{v\ max} = k_1 k_2 q_o A,$$

в) **средний за неделю** расход теплоты, Вт, на **горячее водоснабжение** жилых и общественных зданий

$$Q_{hm} = \frac{1,2 m \cdot (a + b) \cdot (55 - t_c)}{24 \cdot 3,6} \cdot c,$$

или

$$Q_{hm} = q_h m,$$

г) **максимальный** расход теплоты, Вт, на **горячее водоснабжение** жилых и общественных зданий

$$Q_{hmax} = 2,4 Q_{hm},$$

где q_o – укрупненный показатель максимального расхода теплоты на отопление жилых зданий на $1\ m^2$ общей площади, принимаемый в соответствии с таблицей А.1, Вт;

A – общая площадь жилых зданий, м²;

k_1 – коэффициент, учитывающий расход теплоты на отопление общественных зданий; при отсутствии данных следует принимать равным 0,25;

k_2 – коэффициент, учитывающий расход теплоты на вентиляцию общественных зданий; при отсутствии данных следует принимать равным: для общественных зданий, построенных до 1985 г. – 0,4, в период 1985 г. по 1995 г. – 0,6; после 1995 – 0,8.

a – норма расхода воды на ГВС при температуре 55°C на одного человека, л/сут, проживающего в здании с горячим водоснабжением, принимаемая в зависимости от степени комфортности зданий в соответствии с СН 4.01.03-2019 Системы внутреннего водоснабжения и канализации;

b – норма расхода воды на ГВС при температуре 55°C, потребляемая в общественных зданиях, принимаемая в количестве 25 л на одного человека в сутки;

t_c – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период (при отсутствии данных принимается равной 5°C);

c – удельная теплоемкость воды, принимаемая в расчетах равной 4,187 кДж/(кг·°C);

q_h – укрупненный показатель среднего расхода теплоты на горячее водоснабжение на 1 человека, принимаемы по таблице А.2, Вт [т.е. Вт/чел];

m – количество человек;

1,2 – коэффициент, учитывающий остывание горячей воды в абонентских системах горячего водоснабжения;

2,4 – коэффициент, учитывающий неравномерность потребления горячей воды в течение суток в пределах недели.

Общая площадь жилых зданий, м², определяется по формуле

$$A = F \cdot P ,$$

где F – площадь квартала, га;

P – плотность жилищного фонда, м²/га, зависит от этажности застройки.

Количество жителей, чел, определяется по формуле

$$m = A / N ,$$

где N – норма общей площади на 1 человека, при отсутствии данных можно принимать 18 м²/чел.

Тепловая нагрузка (сезонная) при текущей температуре наружного воздуха t_n в течение отопительного сезона может быть определена по формуле

$$Q = Q_{\max} \cdot \overline{Q} = Q_{\max} \cdot \frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} ,$$

где Q_{\max} – максимальная нагрузка, Вт;

\bar{Q} – относительная тепловая нагрузка, определяемая по формуле

$$\bar{Q} = \frac{t_i - t_H}{t_i - t_o}.$$

Текущей температурой наружного воздуха может быть средняя за месяц; средняя за отопительный период, текущая температура воздуха (т.е. температура в конкретный момент времени).

Средний (за отопительный период) расход теплоты, Вт, следует определять по формулам:

– на отопление жилых районов населенных пунктов

$$Q_{om} = Q_{o \max} \frac{t_i - t_{om}}{t_i - t_o};$$

– на вентиляцию при t_o

$$Q_{ov} = Q_{v \max} \frac{t_i - t_{om}}{t_i - t_o},$$

где t_o – расчетная температура наружного воздуха при проектировании отопления, °С;

t_i – средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, принимаемая для жилых и общественных зданий равной 18 °С, для производственных зданий – 16 °С;

t_{om} – средняя температура наружного воздуха за период со среднесуточной температурой воздуха 8 °С и менее (отопительный период), °С.

Средний расход теплоты, Вт, на ГВС жилых районов населенных пунктов в неотапливаемый период следует определять по формуле

$$Q_{hm}^s = Q_{hm} \cdot \frac{55 - t_c^s}{55 - t_c} \cdot \beta,$$

где t_c^s – температура холодной (водопроводной) воды в неотапливаемый период (при отсутствии данных для поверхностных источников принимается равной 15 °С, для подземных – от 5 °С до 7 °С);

t_c – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период (при отсутствии данных принимается равной 5 °С);

β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотапливаемый период по отношению к отопительному периоду, принимаемый при отсутствии данных для жилищно-

коммунального сектора равным 0,8 (для курортных – от 1,2 до 1,5), для предприятий – 1,0.

Суммарный тепловой поток, Вт, определяется суммированием максимальных тепловых потоков на отопление, вентиляцию и среднего теплового потока на горячее водоснабжение:

$$\sum Q = Q_{o \max} + Q_{v \max} + Q_{hm} .$$

Тема 2.4. Годовой расход теплоты

Годовой расход теплоты на теплоснабжение, а также его распределение по сезонам года используется для определения расхода топлива и применяется в различных технических и экономических расчетах; для разработки режимов использования оборудования и графиков его ремонта, загрузки и графика отпусков обслуживающего персонала.

Годовой расход теплоты, Вт·ч, на коммунально-бытовые нужды потребителями района определяют по формуле

$$\sum Q^{\text{год}} = Q_o^{\text{год}} + Q_v^{\text{год}} + Q_{hm}^{\text{год}} ,$$

где $Q_o^{\text{год}}$, $Q_v^{\text{год}}$, $Q_{hm}^{\text{год}}$ – соответственно годовые расходы теплоты, Вт·ч, на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение:

$$Q_o^{\text{год}} = Q_{om} \cdot n_o ,$$

$$Q_v^{\text{год}} = Q_{vm} \cdot n_o \cdot z / 24 ,$$

$$Q_{hm}^{\text{год}} = Q_{hm} \cdot n_o + Q_{hm}^s \cdot (8400 - n_o) ,$$

где Q_{om} , Q_{vm} – средние тепловые потоки соответственно на отопление и вентиляцию за отопительный период, Вт;

t_i – средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, °С;

t_{om} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

t_o – расчетная температура наружного воздуха на отопление, °С;

n_o – продолжительность отопительного периода, ч;

z – усредненное за отопительный период число часов работы системы вентиляции общественных зданий в течение суток (при отсутствии данных принимаем 16 ч);

Q_{hm} , Q_{hm}^s – соответственно средний тепловой поток на горячее водоснабжение в отопительный и летний период, Вт;

8400 – количество часов работы системы горячего водоснабжения в году.

Годовой расход теплоты можно распределить по отдельным месяцам года и построить соответствующий график (рис. 2.12).

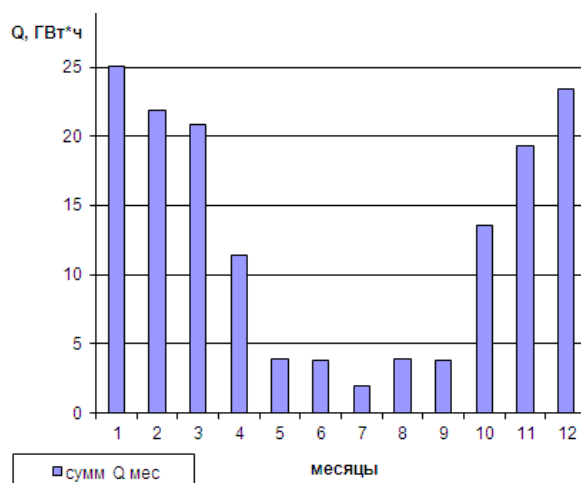


Рисунок 2.12 – Годовой график расхода теплоты по месяцам года

Расходы теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение за месяц, Вт·ч, определяются по формулам

$$Q_o^{мес} = Q_{om}^{мес} \cdot n_o^{мес} = Q_{o\max} \cdot \bar{Q} \cdot n_o^{мес},$$

$$Q_v^{мес} = Q_{vm}^{мес} \cdot n_v^{мес} = Q_{v\max} \cdot \bar{Q} \cdot n_v^{мес},$$

$$Q_h^{мес} = Q_{hm} \cdot n_h^{мес},$$

где $Q_{om}^{мес}$, $Q_{vm}^{мес}$ – среднемесячный расход теплоты соответственно на отопление и вентиляцию, Вт;

$n_o^{мес}$, $n_v^{мес}$, $n_h^{мес}$ – продолжительность работы в течение месяца соответственно систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, ч;

$Q_{o\max}$, $Q_{v\max}$ – расчетный (максимальный) расход теплоты соответственно на отопление и вентиляцию, Вт;

\bar{Q} – относительная тепловая нагрузка;

$t_m^{мес}$ – среднемесячная температура наружного воздуха, °С.

Построение годовых графиков тепловых нагрузок (рис. 2.13) строят на основании известных расчетных расходов теплоты по всем видам тепловой нагрузки и состоят из **графика часового расхода теплоты** (левой части) и **графика продолжительности тепловой нагрузки** (правой части).

Построение теплового графика (Россандера) происходит в следующей последовательности: в правой части графика по оси абсцисс откладывают продолжительность работы источника теплоснабжения (в часах), в левой части – температуру наружного воздуха; по оси ординат откладывают расход тепла.

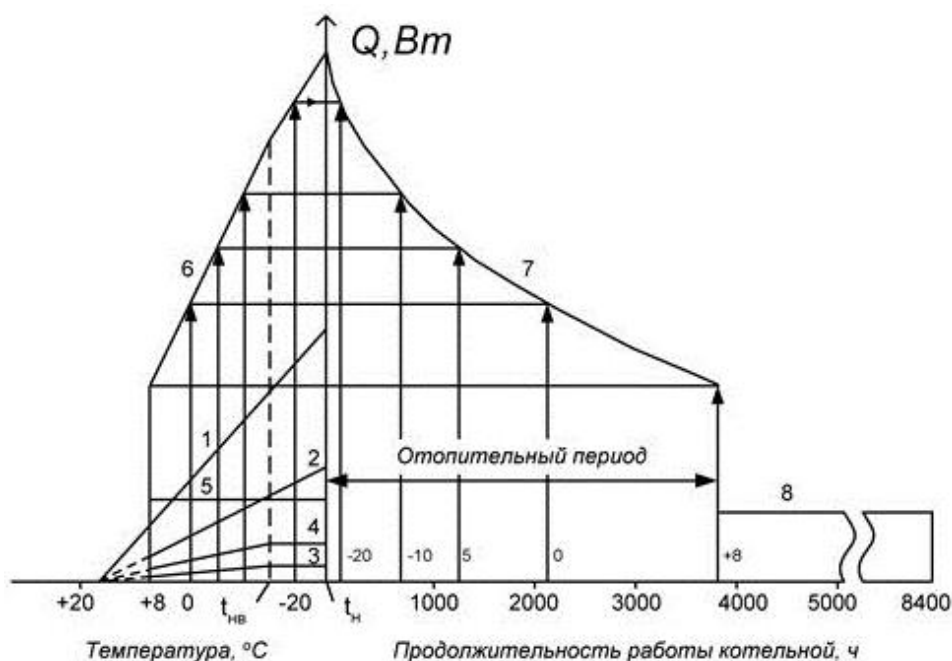


Рисунок 2.13 – Годовой график тепловой нагрузки: 1 – расход тепла на отопление жилых и общественных зданий; 2 – на отопление производственных помещений; 3 – на вентиляцию общественных зданий; 4 – на вентиляцию производственных помещений; 5 – на ГВС и технологические нужды; 6 – суммарный график расхода тепла; 7 – график тепловой нагрузки за отопительный период; 8 – нагрузка летнего периода

Сначала строят график изменения расхода тепла на **отопление жилых и общественных зданий** в зависимости от наружной температуры. Для этого на оси ординат откладывают суммарный максимальный расход тепла на отопление этих зданий и найденную точку соединяют прямой с точкой, соответствующей температуре наружного воздуха, равной усредненной расчетной внутренней температуре гражданских зданий $t_{в} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Так как начало отопительного сезона принято при $t_{н} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому линия 1 графика до этой температуры показана пунктиром.

Расход тепла на **вентиляцию общественных зданий** представляет собой наклонную прямую 3 от $t_{в} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ до расчетной вентиляционной температуры $t_{нв}$ для данного климатического района. При более низких температурах к приточному наружному воздуху подмешивается воздух помещения, т.е. осуществляется *рециркуляция*, а расход тепла остается неизменным (график проходит параллельно оси абсцисс).

Расходы тепла на **ГВС и технологические нужды** не зависят от $t_{н}$ и проводятся, как прямая 5.

Для построения общего графика (суммарного) складываются все расходы тепла: $\Sigma Q_{0} + \Sigma Q_{в} + \Sigma Q_{ГВ} + \Sigma Q_{т}$.

Вправо по оси абсцисс откладывают для каждой наружной температуры число часов отопительного периода, в течение которых наблюдается наружная температура, равная или ниже той, для которой производится построение (используются климатические данные местности, где расположен

источник теплоты и ее потребители), через эти точки проводят вертикальные линии. Далее на эти линии из суммарно графика расхода тепла проецируют ординаты, соответствующие максимальным расходам тепла при тех же наружных температурах. Полученные точки соединяют плавной кривой 7, представляющей собой **график продолжительности** тепловой нагрузки за отопительный период.

Площадь, ограниченная осями координат, кривой 7 и горизонтальной линией 8, показывающей суммарную летнюю нагрузку, выражает **годовой расход тепла**, ГДж/год.

Графики теплового потребления необходимы для решения ряда вопросов централизованного теплоснабжения: определения расходов топлива, выбора оборудования источников теплоты, выбора режима загрузки и графика ремонта этого оборудования, выбора параметров теплоносителя, а также для технико-экономических расчетов при проектировании и эксплуатации системы теплоснабжения.

К **основным показателям отпуска тепловой энергии** потребителям относятся: средняя тепловая нагрузка за отопительный сезон; число часов использования максимальной нагрузки за отопительный сезон; коэффициент часовой неравномерности расхода теплоты за отопительный сезон.

Если на оси абсцисс графика продолжительности построить прямоугольник с основанием, равным продолжительности отопительного периода n_o , и площадью, равной площади графика продолжительности в пределах отопительного сезона Q_c^{zod} , то высота этого прямоугольника будет равна **среднему расходу теплоты** Q_c^{cp} , Вт, за отопительный сезон:

$$Q_c^{cp} = Q_c^{zod} / n_o,$$

где Q_c^{zod} – **годовой расход теплоты** в течение отопительного сезона, ГВт·ч.,

Если на оси ординат графика продолжительности построить прямоугольник высотой, равной максимальной суммарной тепловой нагрузке ΣQ^{max} , и площадью, равной площади графика продолжительности в пределах отопительного сезона Q_c^{zod} , то основание этого прямоугольника будет равно **длительности использования расчетной тепловой нагрузки** за отопительный сезон $n_{u.m}$, ч.:

$$n_{u.m} = Q_c^{zod} / \Sigma Q^{max}.$$

Коэффициент часовой неравномерности расхода теплоты за отопительный сезон можно определить по формуле

$$k_{ч} = \Sigma Q^{max} / Q_{сез}^{cp} = \frac{n_o}{n_{u.m}}.$$

Величины $n_{u.m}$ и $k_{ч}$ характеризуют неравномерность потребления теплоты за отопительный сезон продолжительностью n_o .

Раздел III. Системы теплоснабжения

Тема 3.1. Системы теплоснабжения

Теплоснабжение – снабжение теплом различных зданий и сооружений с целью обеспечения технологических и коммунально-бытовых нужд потребителя. Совокупность технических устройств по производству, транспорту и потреблению тепловой энергии называется **системой теплоснабжения**. Система теплоснабжения включает в себя (рис. 3.1):

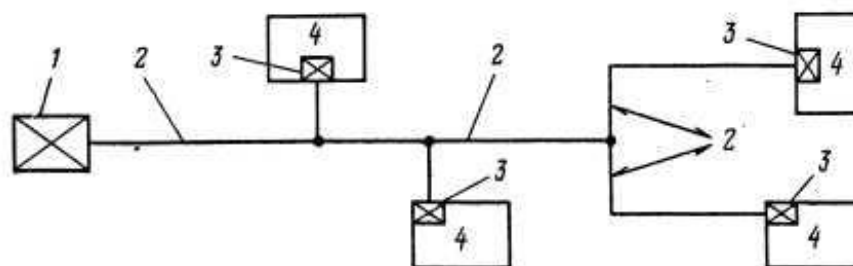


Рисунок 3.1 – Основные элементы системы теплоснабжения: 1 – источник теплоснабжения; 2 – тепловые сети; 3 – тепловые пункты; 4 – здания с местными системами потребителей тепла

- **источник теплоты** – вырабатывает тепловую энергию;
- **тепловые сети** – соединяют источник теплоты с тепловыми пунктами. Размещаются вне зданий, но в отдельных случаях могут проходить внутри них;

- **тепловые пункты** – технологически связывают местные системы потребления теплоты с тепловыми сетями и источником теплоты. Размещаются внутри или вне зданий. В тепловых пунктах происходит распределение, регулирование и учет расходуемой теплоты;

- **местные системы потребителей** теплоты. Размещаются в каждом здании, обеспечиваемом теплотой. Их функции состоят в использовании подводимой теплоты.

Классификация систем теплоснабжения осуществляется по ряду признаков:

- по источнику приготовления тепла – теплофикация, централизованные децентрализованные;
- по режиму потребления тепла – круглогодовые, сезонные;
- по роду теплоносителя – водяные, паровые, смешанные;
- по способу подключения системы отопления к системе теплоснабжения – зависимы, независимые;
- по способу подачи воды на горячее водоснабжение – закрытые, открытые;

- по числу теплопроводов – однетрубные, многотрубные;
- по способу обеспечения потребителей тепловой энергией – одноступенчатые, многоступенчатые;
- по способу регулирования отпуска тепла – централизованное качественное регулирование и местное количественное.

Структура системы централизованного теплоснабжения характеризуются сочетанием трех основных звеньев: *теплоисточников; тепловых сетей и местных систем теплоиспользования (теплопотребления)* отдельных зданий или сооружений.

В *теплоисточниках* осуществляется получение теплоты за счет сжигания различных видов органического топлива (*котельные*) или теплоты, выделяемой при распаде радиоактивных элементов (*атомными станциями теплоснабжения*). В отдельных системах теплоснабжения используют в качестве вспомогательных возобновляемые источники теплоты – геотермальная энергия, энергия солнечного излучения и т.п.

Если теплоисточник расположен вместе с теплоприемником в одном здании, то это система *местного теплоснабжения*.

В системах *централизованного теплоснабжения* теплоисточники располагаются в отдельно стоящих зданиях, а транспорт теплоты от них осуществляется по трубопроводам тепловых сетей, к которым присоединены системы теплоиспользования отдельных зданий.

Масштабы систем централизованного теплоснабжения могут изменяться в широких пределах: *небольшие*, обслуживающих несколько соседних зданий; *крупные*, охватывающих ряд жилых или промышленных районов и даже город в целом.

Независимо от масштаба эти системы *по контингенту обслуживаемых потребителей подразделяются на: коммунальные; промышленные; общегородские*.

К *коммунальным* относятся системы, снабжающие теплотой в основном жилые и общественные здания, а также отдельные здания промышленного и коммунально-складского назначения, размещение которых в зоне городов допускается нормами. *Коммунальные системы*, в зависимости от численности населения на обслуживаемой территории, *делятся на: групповые; микрорайонные; районные*.

Теплоисточники, обслуживающие эти системы, по одному на каждую систему, могут быть отнесены соответственно к категории *групповых, микрорайонных и районных котельных*.

При больших масштабах выработки теплоты, в особенности в общегородских системах, является целесообразной совместная выработка теплоты и электроэнергии. Это обеспечивает существенную экономию топлива по сравнению с отдельной выработкой теплоты в котельных, а электроэнергии – на тепловых электростанциях за счет сжигания тех же видов топлива.

Атомные электростанции, использующие теплоту, выделяемую при распаде радиоактивных элементов, для выработки электроэнергии, также иногда целесообразно использовать как теплоисточники в крупных системах теплоснабжения. Эти станции называются *атомными теплоэлектроцентралями* (АТЭЦ).

Системы централизованного теплоснабжения, использующие ТЭЦ в качестве основных теплоисточников, называются *теплофикационными*.

Особенностью централизованных систем является наличие протяженных тепломагистралей, насосных подстанций, центральных тепловых пунктов, что усложняет работу сети и не всегда обеспечивает требуемое количество тепла. **Децентрализованные системы** обеспечивают более высокую надежность теплоснабжения, снижаются потери тепла в тепловых сетях, но ограничен вид топлива, обеспечивающий высокий КПД источника теплоты и методы очистки дымовых газов от вредных выбросов.

Тема 3.2. Тепловые пункты

Большинство зданий имеют системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, которые присоединяются к тепловой сети. Связующим звеном между тепловой сетью и местными системами теплоиспользования является **тепловой пункт** (ТП). Он представляет собой узел присоединения теплового потребителя к тепловой сети или располагается на стыках сетей различных категорий.

Центральный тепловой пункт; ЦТП: сооружение с комплектом оборудования, позволяющего изменять температурный и гидравлический режимы теплоносителя, обеспечивать учет и регулирование расхода тепловой энергии для двух или более зданий и сооружений, сооружаемое на распределительных сетях (рис. 3.2, а).

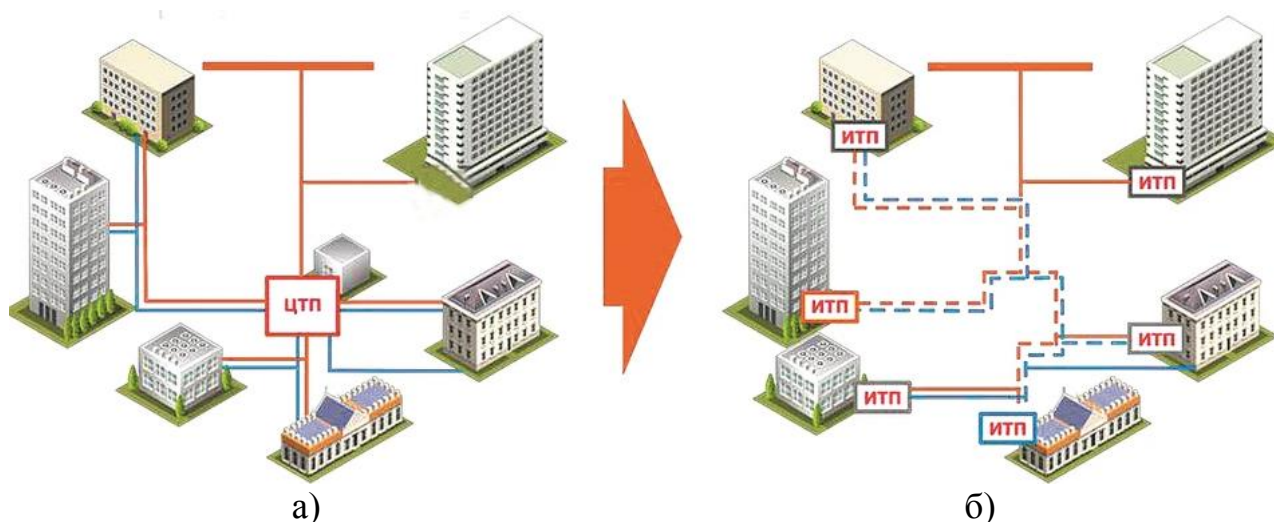


Рисунок 3.2 – Тепловые пункты: центральный (а) и индивидуальный (б)

Необходимость устройства ЦТП для жилых и общественных зданий должна быть обоснована технико-экономическим расчетом. ЦТП широко применяются на промпредприятиях, а также в городских жилых районах. ЦТП – это отдельно стоящее здание, к которому подводится теплоноситель от тепловой сети.

Индивидуальный тепловой пункт; ИТП: тепловой пункт, обеспечивающий присоединение систем отопления, теплоснабжения, установок систем вентиляции, горячего водоснабжения и технологических теплоустановок **одного здания или его части** к тепловой сети (рис. 3.2, б).

ИТП устраивается непосредственно в здании. Устройство ИТП обязательно для каждого здания независимо от наличия ЦТП, при этом в ИТП предусматриваются только те мероприятия, которые необходимы для присоединения данного здания и не предусмотрены в ЦТП.

По способу обеспечения потребителей тепловой энергии различают одноступенчатые и многоступенчатые системы теплоснабжения (рис. 3.3).

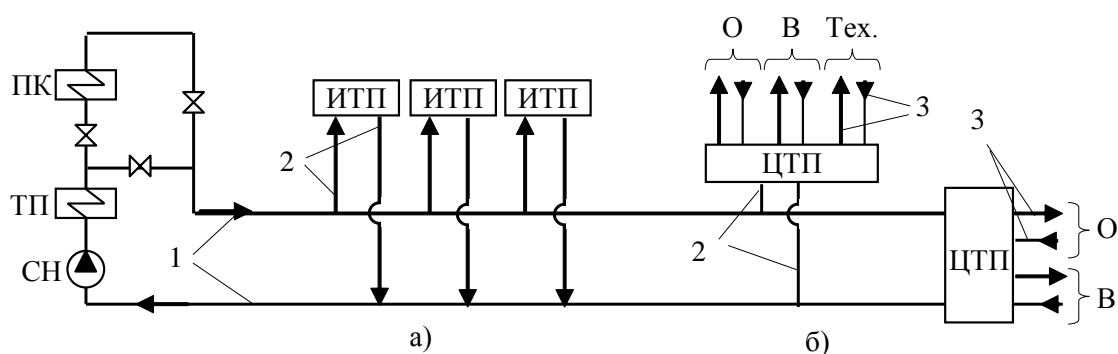


Рисунок 3.3 – Системы теплоснабжения: одноступенчатая (а) и двухступенчатая (б); 1 – магистральные трубопроводы (первая ступень); 2 – ответвления; 3 – распределительные сети (вторая ступень); СН – сетевой насос; ТП – теплофикационный подогреватель; ПК – пиковый котел

В **одноступенчатых системах** тепловые потребители присоединяются **непосредственно** к тепловым сетям (**зависимая** схема присоединения). Узлы присоединения теплопотребителей к тепловым сетям называют **абонентскими вводами**, на которых устанавливают оборудование (подогреватели горячего водоснабжения; элеваторы, насосы, арматуру; КИП). Абонентский ввод часто называют индивидуальным тепловым пунктом (ИТП). Непосредственное присоединение отопительных приборов ограничивает пределы допустимого давления в тепловых сетях, т.к. высокое давление, необходимое для транспорта теплоносителя к конечным потребителям, опасно для радиаторов отопления. Поэтому одноступенчатые системы применяют для теплоснабжения ограниченного числа потребителей от котельных с небольшой длиной тепловых сетей.

В многоступенчатых схемах (независимая схема) между источником теплоснабжения и потребителями размещают ЦТП, в которых параметры теплоносителя могут изменяться по требованию местных потребителей. ЦТП оборудуются насосными и водонагревательными установками, регулирующей и предохранительной арматурой, КИП, предназначенными для обеспечения группы потребителей (в квартале или районе) теплом необходимых параметров.

Тепловой пункт: сооружение с комплектом оборудования, позволяющее изменять температурный и гидравлический режимы теплоносителя, обеспечивать учет и регулирование расхода тепловой энергии и теплоносителя конкретного потребителя.

В тепловых пунктах размещают оборудование, арматуру, приборы контроля, управления и автоматизации, посредством которых осуществляется:

- преобразование вида теплоносителя или его параметров;
- контроль параметров теплоносителя;
- учет тепловых потоков, расходов теплоносителя и конденсата;
- регулирование расхода теплоносителя и распределение его по системам потребления теплоты (через распределительные сети в ЦТП или непосредственно в системы ИТП);
- защита местных систем от аварийного повышения параметров теплоносителя;
- заполнение и подпитка систем потребления теплоты;
- сбор, охлаждение, возврат конденсата и контроль его качества;
- аккумуляирования теплоты;
- водоподготовка для систем горячего водоснабжения.

В тепловом пункте в зависимости от его назначения и местных условий могут осуществляться все перечисленные мероприятия или только их часть. Перечень оборудования, установленного в тепловом пункте, зависит от схем подключения систем отопления и горячего водоснабжения, параметров теплоносителя, режимов теплоснабжения и других факторов. От работы ТП зависят в значительной мере надежность и экономичность систем теплоснабжения в целом.

Основное оборудование, установленное в тепловых пунктах:

- **водоподогреватели** – для систем горячего водоснабжения и отопления (при независимых схемах присоединения систем отопления к тепловым сетям);
- **центробежные насосы** – используют в ряде случаев вместо элеваторов, а также для создания циркуляции в системах горячего водоснабжения и для откачки конденсата;
- **грязевики** – для защиты систем отопления от загрязнений;
- **фильтры** и другие устройства – для защиты *от коррозии* систем горячего водоснабжения;

- **элеваторы** – для снижения температуры воды перед отопительными системами здания (путем подмешивания обратной воды после отопительных систем);
- запорная **арматура и КИП** (приборы контроля и учета теплоты);
- автоматические **регуляторы** – для поддержания заданных параметров теплоносителя;
- а также устройства для регулирования отпуска теплоты. Иногда на таких пунктах осуществляются очистка и перекачка конденсата.

Трубопроводная арматура – техническое устройство, устанавливаемое на трубопроводах, оборудовании и ёмкостях. Путём изменения проходного сечения предназначено для управления потоками рабочих сред (перекрытия, открытия, регулирования, распределения, смешивания, разделения).

Подогреватели поверхностного типа устанавливают в тепловых пунктах как для систем горячего водоснабжения (при закрытой системе), так и для систем отопления (при независимой схеме присоединения). В настоящее время широко применяются **пластинчатые водоподогреватели** – это устройства, используемые для передачи тепловой энергии от одного (более горячего) потока к другому (более холодному) потоку через разделяющие их тонкие металлические пластины, которые стягиваются прижимными плитами, образуя единую конструкцию (рис. 3.4).

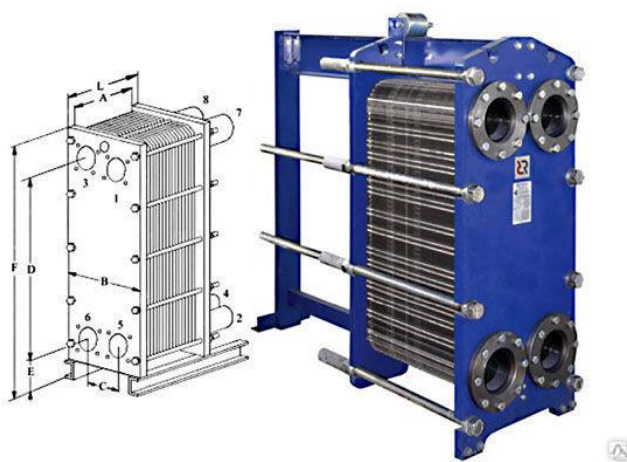


Рисунок 3.4 – Пластиновый теплообменник (водонагреватель)

Ёмкостные водоподогреватели допускается применять, используя их в качестве **баков-аккумуляторов** горячей воды, для систем горячего водоснабжения с периодическим водоразбором, а также в паровых тепловых сетях. Бак-аккумулятор накапливает тепло – постепенно наполняется горячей водой (рис. 3.5). Когда возникает необходимость, передает накопленное тепло в соответствующих пропорциях и времени различным приемникам этого тепла в здании – циркуляционный насос перекачивает теплоноситель в систему ГВС или отопления. Аккумуляторы теплоты необходимы для

сглаживания колебаний потребления горячей воды при неравномерном режиме. Они обеспечивают равномерную работу водонагревателей и устраняют резкие колебания температуры нагреваемой воды.

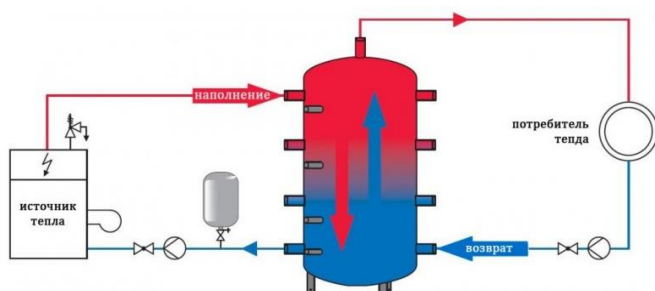


Рисунок 3.5 – Бак-аккумулятор

Большинство водяных систем отопления жилых и общественных зданий, а также подсобных и бытовых зданий и помещений на промпредприятиях присоединено к тепловым сетям по **зависимой схеме с элеватором** (рис. 3.6).

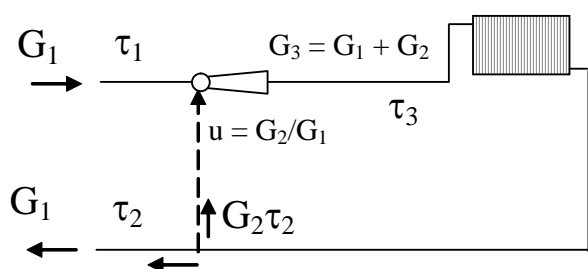


Рисунок 3.6 – Схема элеваторного ввода системы отопления:

1 – элеватор; 2 – нагревательный прибор; на фото – до элеватора установлен грязевик

Основной расчетной характеристикой для элеватора является **коэффициент смешения**: $u = (\tau_1 - \tau_3) / (\tau_3 + \tau_2)$, где τ_1 , τ_2 , τ_3 – температуры горячей воды соответственно в тепловой сети, обратной воды после системы отопления и смешанной воды после элеватора.

Элеватор водоструйный предназначен для понижения температуры воды, поступающей из главной тепловой магистрали в локальную систему теплоснабжения (отопления), за счет смешивания определенной части воды из обратного трубопровода (рис. 3.7). Горячая вода из подающего трубопровода поступает в узкое съемное конусное сопло, скорость потока резко возрастает. В приемной камере, за соплом создается разрежение. В результате чего происходит подсосывание охлажденной воды из обратного трубопровода и в камере смешивания происходит смешение воды из подающего и обратного трубопроводов, а также создается принудительная циркуляция. Таким

образом, элеватор работает как смеситель и как циркуляционный насос. Далее вода нужной температуры поступает в отопительные приборы.

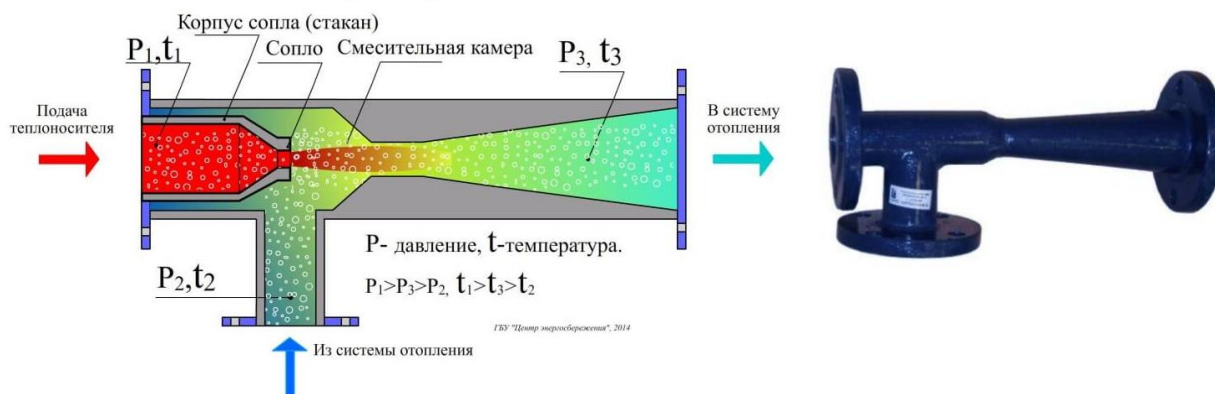


Рисунок 3.7 – Элеватор водоструйный

Для защиты элеватора, от попадания в него крупных частиц и предотвращения засорения, перед ним необходимо устанавливать грязевик. Элеваторы просты и надежны в эксплуатации, бесшумны и обеспечивают постоянство коэффициента смешения при изменениях теплового и гидравлического режимов магистральных сетей.

Центробежные насосы в тепловых пунктах применяют вместо элеваторов для повышения давления в подающем или снижении давления в обратном трубопроводах. А также для циркуляции воды в системах горячего водоснабжения или повышения давления водопроводной воды, используемой на горячее водоснабжение и для откачки конденсата в паровых системах (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Насосы

Грязевики – специальные устройства, устанавливаемые в системах водоснабжения и отопления для очистки воды, защиты трубопроводов от

образования отложений и ржавчины, фильтрации примесей и посторонних предметов. Принцип действия грязевика основан на резком снижении скорости движения воды, благодаря чему механические частицы оседают на дне корпуса грязевика (рис. 3.9). Очищенная жидкость выходит в систему отопления через выходной патрубок.

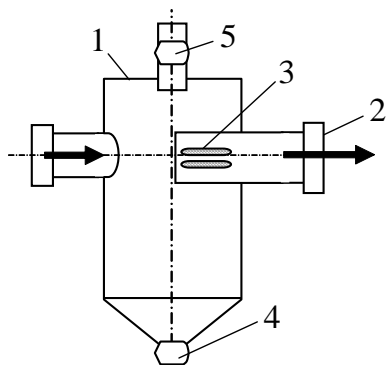


Рисунок 3.9 – Грязевик абонентский (вертикальный фланцевый):
1 – корпус; 2 – выходной патрубок; 3 – фильтр; 4 – удаление отстоя; 5 – воздушный кран

Фильтр сетчатый — это устройство, предназначенное для очистки воды от примесей (рис. 3.10). По принципу действия такой же как и грязевик. Фильтр сетчатый применяются для горячей и холодной воды, пара в системах тепло- и водоснабжения, для защиты от загрязнений последовательно включенных установок, фильтрации и сбора частиц грязи.

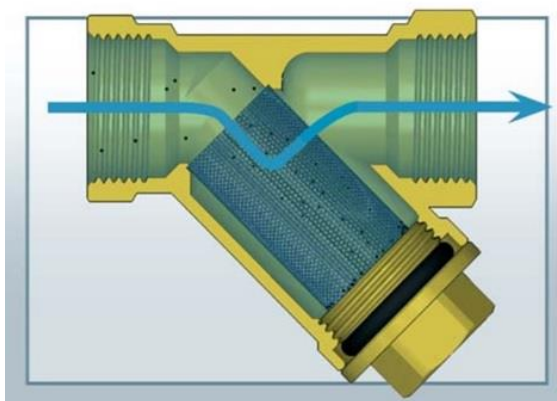


Рисунок 3.10 – Фильтр сетчатый

Водопроводная вода, поступающая на тепловой пункт, содержит агрессивные газы (главным образом O_2 , CO_2), а также соли временной жесткости (Ca, Mg). В результате этого в установках горячего водоснабжения могут возникнуть коррозионный процесс, образование накипи и выпадение шлама.

В ряде случаев может быть применена **естественная деаэрация** путем установки в верхних точках систем горячего водоснабжения

воздухосборников, воздухоотводчиков, расширителей или открытых резервуаров, имеющих сообщение с атмосферой.

Для централизованного сбора скоплений воздуха, содержащихся в теплоносителе, перемещающемся по трубопроводам систем отопления и теплоснабжения, разработаны проточные **воздухосборники** горизонтального и вертикального типа (рис. 3.11).

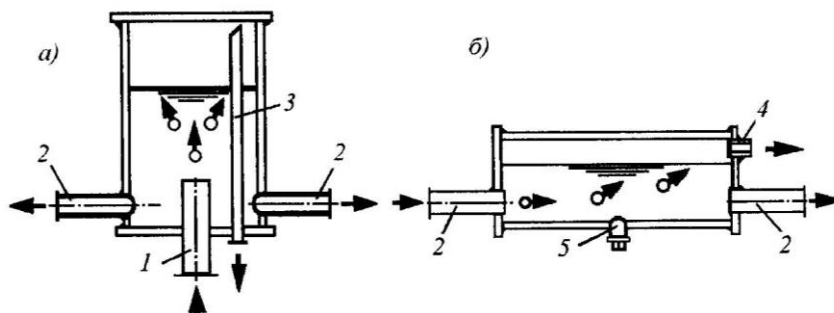


Рисунок 3.11 – Проточные воздухосборники: а – вертикальный на главном стояке; б – горизонтальный на верхней магистрали: 1 – главный стояк; 2 – магистрали; 3 – труба Ду 15 (с краном) для выпуска воздуха; 4 – муфта Ду15 для воздуховыпускной трубы; 5 – муфта Ду15 с пробкой для удаления грязи

Воздухосборники на концевых участках горячих магистралей снабжаются автоматическими **воздухоотводчиками** (рис. 3.12). Они служат для непрерывного удаления воздуха из системы.

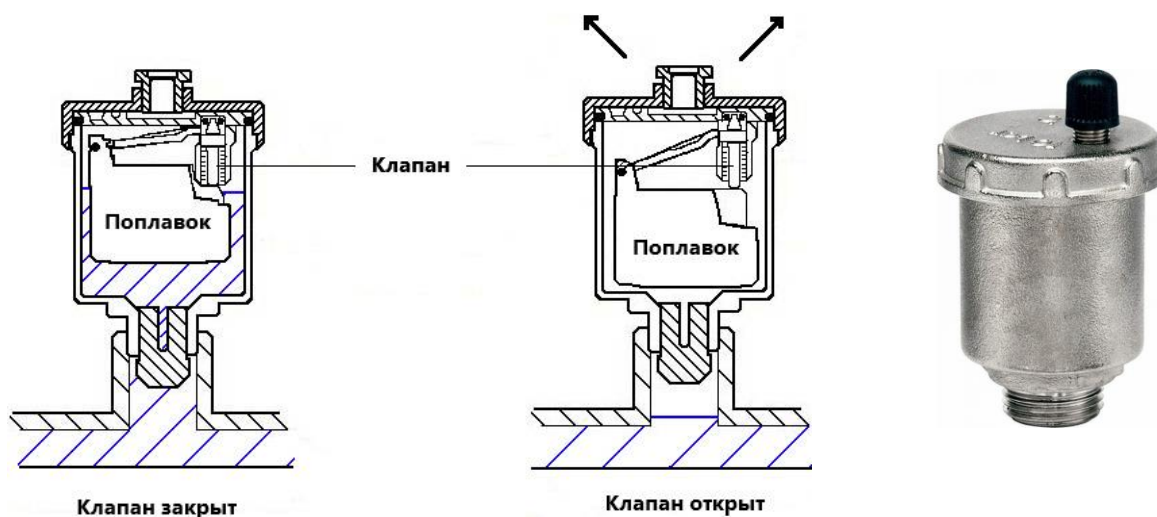


Рисунок 3.12 – Схема работы автоматического воздухоотводчика

Воздухоотводчик необходим для спуска воздуха, чтобы обеспечить равномерное распределение тепла по системе теплоносителя. Большое скопление воздуха в системе приводит к образованию пробки, из-за чего

циркуляция воды останавливается, и охлаждает батареи. Принцип работы автоматического воздухоотводчика заключается в открытии спускного отверстия, когда образуется затора из воздуха в отопительной системе. Устройство самостоятельно открывает и выталкивает воздух.

При исправной работе системы, поплавков, который расположен во входном патрубке воздухоотводчика, должен находиться в верхней части устройства. За счёт присоединения с ним штока в форме конуса, входной проход закрывается. В случае скапливания воздуха в системе, поплавок медленно движется к низу и перемещает запирающий шток. Происходит отпирание воздушного клапана и воздух выходит наружу через отверстие.

Внутреннее пространство всех элементов системы отопления (трубопроводов, отопительных приборов, арматуры, оборудования и т.д.) заполнено теплоносителем. В процессе эксплуатации получающийся при заполнении системы объём теплоносителя претерпевает изменения: при повышении температуры теплоносителя он увеличивается, при понижении — уменьшается. Соответственно изменяется внутреннее давление. Однако эти изменения не должны отражаться на работоспособности системы отопления и, прежде всего, не должны приводить к превышению предела прочности и разрушению любых её элементов. Поэтому в систему водяного отопления вводится дополнительный элемент для вмещения расширения объёма воды — **расширительный бак** (рис. 3.13).

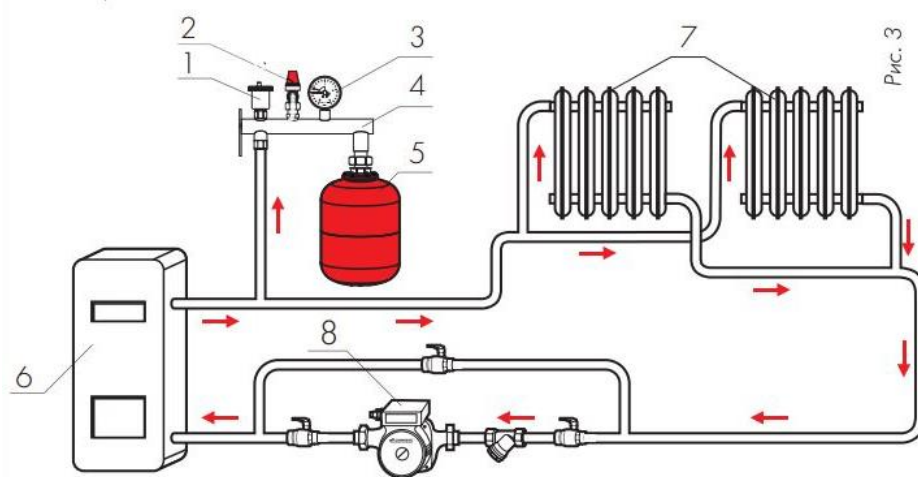


Рисунок 3.13 – Система отопления с расширительным баком: 1 – воздухоотводчик; 2 – предохранительный клапан; 3 – манометр; 4 – стальной корпус крепления; 5 – расширительный бак; 6 – теплогенератор; 7 – радиаторы отопления; 8 – циркуляционный насос

Принцип функционирования бачка-расширителя у различных конструкций не имеет отличий (рис. 3.14). Когда число атмосфер возрастает из-за увеличения объёма жидкости при нагревании, мембрана растягивается. Следом происходит сжатие газа, который находится снаружи, что дает

возможность остаткам жидкостной среды проникнуть внутрь. Ну а после того, как снижается давление из-за понижения температуры, активируется обратный процесс. Бачок-расширитель вбирает в себя определенное количество воды при увеличении ее объема, затем возвращает.

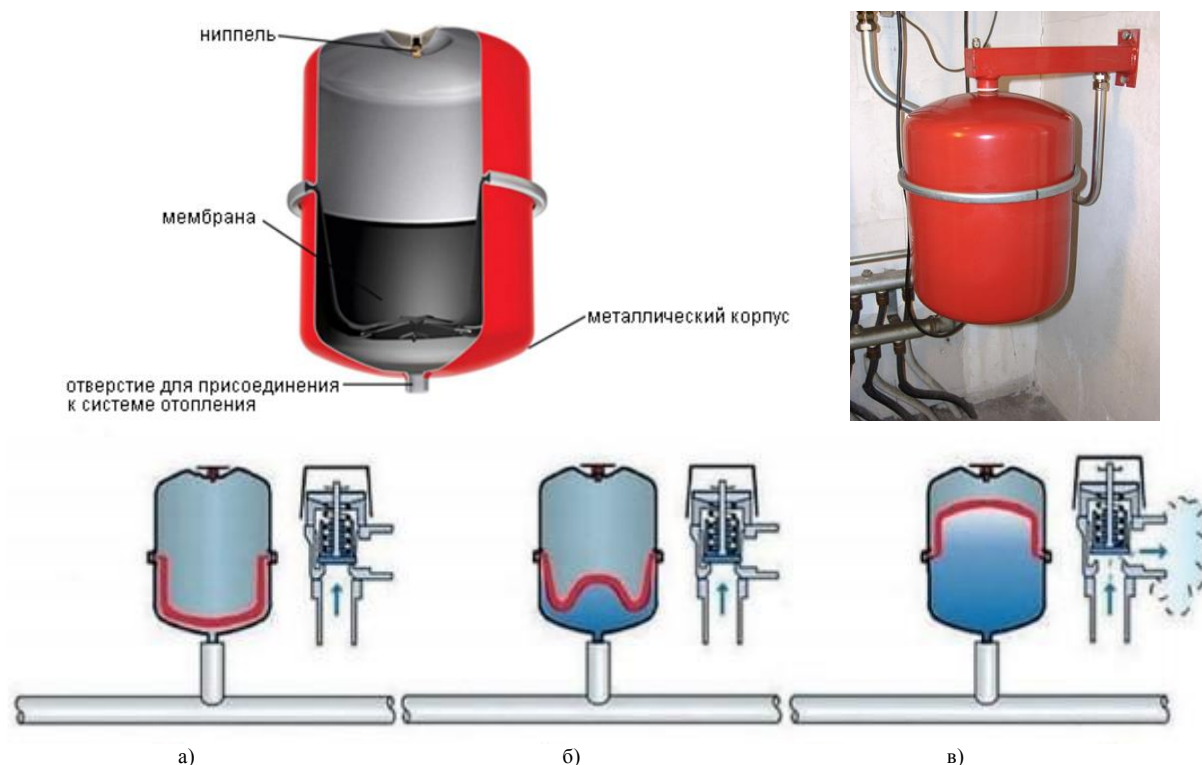


Рисунок 3.14 – Строение мембранного расширительного бака: а – бачок пуст; б – бачок заполняется водой и сжимает воздух; в – бачок заполнен, если давление продолжает расти, то срабатывает предохранительный клапан (ниппель)

Тема 3.3. Схемы абонентских вводов

Водяные системы теплоснабжения могут различаться по способу подачи воды на горячее водоснабжение. В закрытых системах теплоснабжения вода, циркулирующая в тепловой сети, используется только в качестве греющей среды – как теплоноситель, но из сетей потребителем не разбирается. В открытых системах вода, циркулирующая по тепловым сетям, частично или полностью разбирается у потребителей горячей воды.

По способу присоединения тепловых потребителей к тепловым сетям различают зависимое и независимое присоединение.

Передача теплоты из тепловых сетей в местные системы теплоснабжения может происходить (рис. 3.15):

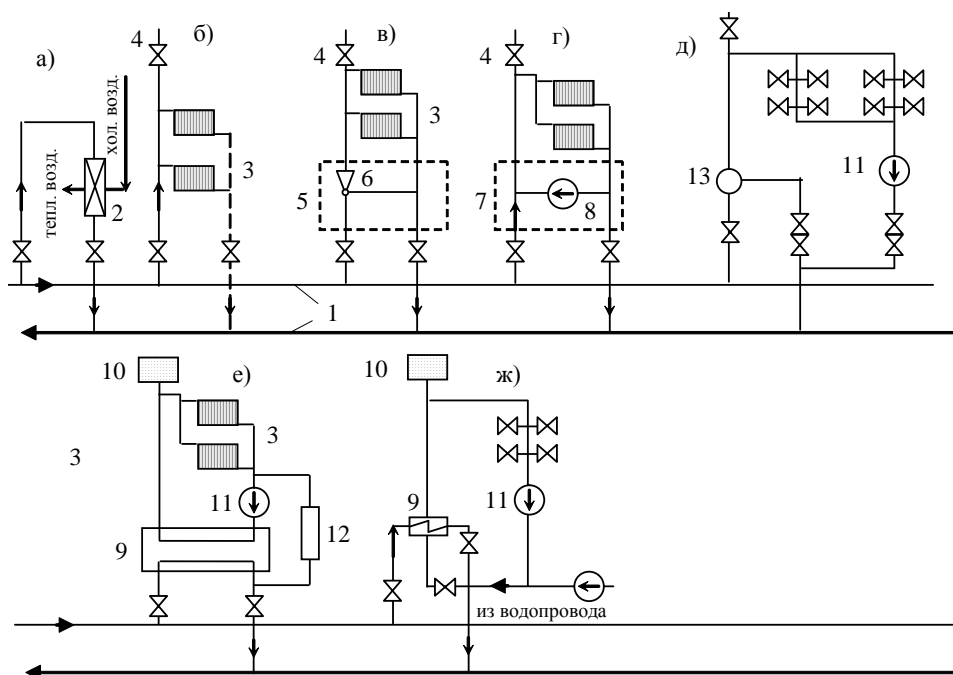


Рисунок 3.15 – Присоединение местных систем теплopotребления к тепловым сетям без понижения (непосредственное) (а-б) и с понижением потенциала (в-е): 1 – подающий и обратный трубопроводы тепловой сети; 2 – калорифер вентиляции; 3 – местная система отопления; 4 – воздушник; 5 – элеваторный смесительный узел; 6 – элеватор; 7 – насосный смесительный узел; 8 – подмешивающий насос; 9 – поверхностных теплообменник отопления; 10 – расширительный сосуд; 11 – циркуляционный насос; 12 – подпиточное устройство; 13 – смеситель

- **без снижения потенциала** теплоты – при непосредственном (зависимом) присоединении к тепловой сети калориферов вентиляции (схема а) и радиаторов отопления производственных (схема б) помещений, в которых по нормам допускается повышенная температура воды в нагревательных приборах;

- **с понижением потенциала** – при присоединении к тепловой сети систем отопления большинства абонентов и системы горячего водоснабжения. Осуществляется при зависимом присоединении систем отопления через смесительные узлы (элеваторы, насосы) (схемы в, г) и систем горячего водоснабжения через смесители (схема д) или при независимом присоединении местных систем отопления и горячего водоснабжения к тепловой сети через поверхностные теплообменники (схемы е, ж).

На абонентских вводах местных систем горячего водоснабжения и отопления, при отсутствии в системе горячего водоснабжения баков-аккумуляторов находят применение два способа подачи теплоты в систему отопления: нормальная и связанная подача.

При **нормальной подаче** система отопления получает теплоту независимо от системы горячего водоснабжения. Любые изменения в расходе теплоты на горячее водоснабжение не отражаются на количестве теплоты,

получаемой системой отопления. При этом расчетный часовой расход теплоты складывается из нормального расхода теплоты на отопление и максимального часового расхода теплоты на горячего водоснабжение:

$$\sum Q_{аб.ввода}^{норм} = Q_o^{max} + Q_z^{max} .$$

При **связанной подаче** количество теплоты, получаемой системой отопления, зависит от расхода теплоты в системе горячего водоснабжения. Это достигается ограничением общего количества теплоты, поступающего на ввод. Расчетный часовой расход теплоты складывается из нормального расхода теплоты на отопление и среднечасового расхода теплоты на горячее водоснабжение:

$$\sum Q_{аб.ввода}^{связ} = Q_o^{max} + Q_z^{cp} .$$

При этом поступление теплоты в систему горячего водоснабжения не ограничивается, в результате чего всякое отклонение расхода теплоты на горячее водоснабжение от среднечасового вызывает противоположное изменение температуры воздуха внутри отапливаемого помещения («перетоп» и «недотоп»). В среднем же за сутки в помещениях обеспечивается заданная температура внутреннего воздуха.

Связанная подача теплоты в систему отопления эффективна в крупных системах теплоснабжения при $Q_z^{max} / Q_o^{max} > 0,1$. Нормальная подача характерна наиболее простой схемой ввода и целесообразна в небольших системах теплоснабжения.

Паровые системы теплоснабжения Паровые централизованные системы теплоснабжения применяются в промышленных районах, при особенно неблагоприятном рельефе местности (наличие оврагов и т. д.), в районах, где невелика продолжительность отопительного периода и санитарно-гигиенические требования к теплоносителю могут быть снижены.

Паровые системы могут быть с возвратом конденсата; без возврата конденсата (рис. 3.16).

В однетрубной паровой системе (рис. 3.16, а) конденсат пара не возвращается от потребителей тепла к источнику, а используется на горячее водоснабжение и технологические нужды или выбрасывается в дренаж. Такие системы мало экономичны и применяются при небольших расходах пара.

Двухтрубные паровые системы с возвратом конденсата к источнику тепла (рис. 3.16, б) имеют наибольшее распространение на практике. Конденсат от отдельных местных систем теплоснабжения собирается в общий бак, расположенный в тепловом пункте, а затем насосом перекачивается к источнику тепла. Конденсат пара является ценным продуктом: он не содержит солей жесткости и растворенных агрессивных, газов и позволяет сохранить до 15 % содержащегося в паре тепла.

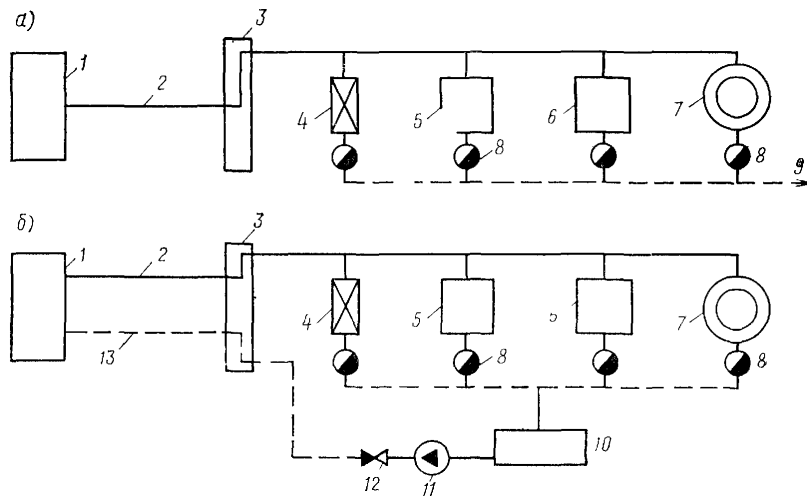


Рисунок 3.16 – Принципиальные схемы паровых систем теплоснабжения:
 а – однотрубной без возврата конденсата; б – двухтрубной с возвратом конденсата,
 1 – источник тепла, 2 – паропровод; 3 – абонентский ввод; 4 – калорифер вентиляции; 5 –
 теплообменник местной системы отопления; 6 – теплообменник местной системы
 горячего водоснабжения; 7 – технологический аппарат; 8 – конденсатоотводчик; 9 –
 дренаж; 10 – бак сбора конденсата; 11 – конденсатный насос; 12 – обратный клапан; 13 –
 конденсатопровод

Приготовление новых порций питательной воды для паровых котлов обычно требует значительных затрат, превышающих затраты на возврат конденсата. Вопрос о целесообразности возврата конденсата к источнику тепла решается в каждом конкретном случае на основании технико-экономических расчетов.

На абонентских вводах систем кроме устройств, обеспечивающих передачу тепла в местные системы теплопотребления, большое значение имеет также **система сбора конденсата и возврата** его к источнику тепла.

Схемы сбора конденсата бывают открытыми и закрытыми. Наиболее простая **открытая схема сбора конденсата** представлена на рис. 3.17.

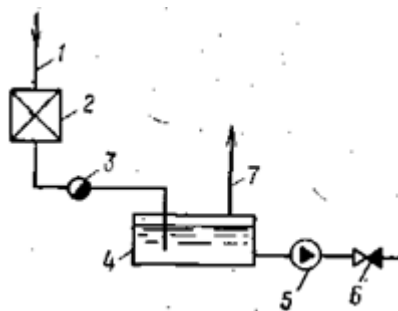


Рисунок 3.17 – Открытая схема сбора конденсата: 1 – паропровод; 2 – теплоиспользующий аппарат; 3 – конденсатоотводчик; 4 – бак сбора конденсата; 5 – насос; 6 – обратный клапан; 7 – атмосферная труба

По этой схеме конденсат от теплоиспользующего аппарата 2 проходит конденсатоотводчик 3, т.е. прибор, пропускающий жидкость и не пропускающий пара, и попадает в бак сбора конденсата 4, который через особую трубу 7 сообщается с атмосферой. Из бака 4 конденсат насосом 5 перекачивается к источнику тепла или в случае однотрубной системы направляется на использование потребителем.

Наибольшее распространение на практике имеют закрытые схемы сбора конденсата (рис. 3.18).

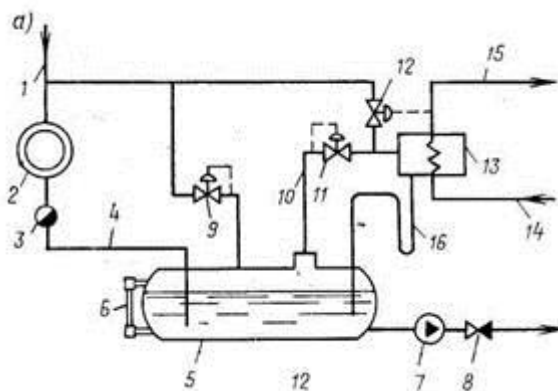


Рисунок 3.18 – Закрытая схема сбора конденсата: 1 – паропровод; 2 – теплоиспользующий аппарат; 3 – конденсатоотводчик; 4 – конденсатопровод; 5 – бак сбора конденсата; 6 – водомерное стекло; 7 – конденсатный насос; 8 – обратный клапан; 9, 11 – регуляторы давления «до себя»; 10 – трубопровод пара вторичного вскипания; 12 – регулятор температуры; 13 – пароводяной теплообменник; 14 – водопровод; 15 – горячая вода; 16 – гидравлический затвор

Конденсат от теплоиспользующего аппарата 2, пройдя конденсатоотводчик 3, попадает в закрытый бак сбора конденсата 5, в котором поддерживается избыточное (по отношению к атмосфере) давление.

При попадании в этот бак высокотемпературного конденсата с температурой более 104 °С конденсат вскипает и образует **вторичный пар**, который может быть использован для разных целей, в том числе и для приготовления воды систем горячего водоснабжения. Установленный на подводке к пароводяному теплообменнику автомат давления «до себя» 11 не позволяет давлению в баке становиться меньше заданной величины. Конденсат, из теплообменника через петлю вновь возвращается в бак. Для этого теплообменник необходимо располагать несколько выше бака.

Поступление конденсата в бак может изменяться в течение отопительного периода и в зависимости от режима работы паропотребляющего оборудования, а, следовательно, может изменяться и поступление вторичного пара в пароводяной теплообменник 13. Поэтому для обеспечения подогрева воды в заданном количестве к теплообменнику через регулятор температуры 12 подводится дополнительно пар от основного паропровода. Удаляется конденсат из бака насосом. При быстром опорожнении бака и образовании в

нем вакуума он может быть раздавлен атмосферным давлением. Во избежание этого к баку через редуктор подводится пар от основного паропровода.

При закрытых схемах сбора конденсата последний не поглощает кислорода воздуха; отсутствуют также непроизводительные потери конденсата и содержащегося в нем тепла. Недостатком закрытых схем является их сложность, а также необходимость четкой увязки количества пара, выделяющегося в баке, с конденсационной способностью пароводяного подогревателя и потреблением нагреваемой в нем воды.

Схемы абонентского ввода с их описанием приведены в СП 41-101-95 и ТКП 45-4.02-183-2009.

Схемы абонентских вводов закрытых систем теплоснабжения.

В системах теплоснабжения применяются схемы присоединения местных теплообменников, одновременно приготавливающих воду для нужд горячего водоснабжения и отопления.

Схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения в закрытых системах теплоснабжения выбирается в зависимости от соотношения максимального потока теплоты на горячее водоснабжения Q_{hmax} и максимального потока теплоты на отопление Q_{omax} :

- при $Q_{hmax} / Q_{omax} = 0,2 - 1,0$ – двухступенчатая схема;
- при остальных соотношениях – одноступенчатая схема.

Во всех схемах отопительным теплообменником могут быть или смесительные узлы (элеваторные, насосные – при зависимом присоединении к тепловой сети), или поверхностный теплообменник (при независимом присоединении) (рис. 3.19).

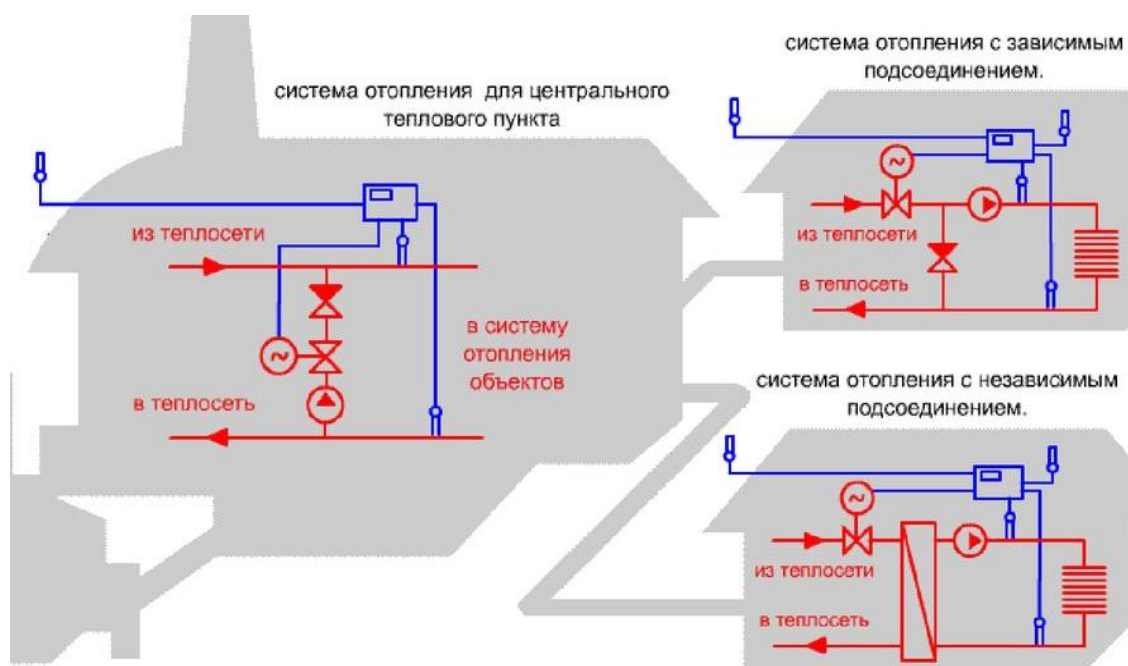


Рисунок 3.19– Принцип присоединения систем отопления

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся **схемы присоединения абонентских систем** отопления и горячего водоснабжения в закрытых системах теплоснабжения.

Когда нагрузка ГВС существенно превышает отопительную, подогреватели горячего водоснабжения устанавливают на тепловом пункте по так называемой **одноступенчатой параллельной схеме** (рис. 3.20). Подогреватель горячего водоснабжения 1 присоединяется к тепловой сети параллельно по ходу греющей сетевой воды с теплообменником отопления (на схеме – элеваторный узел смешения).

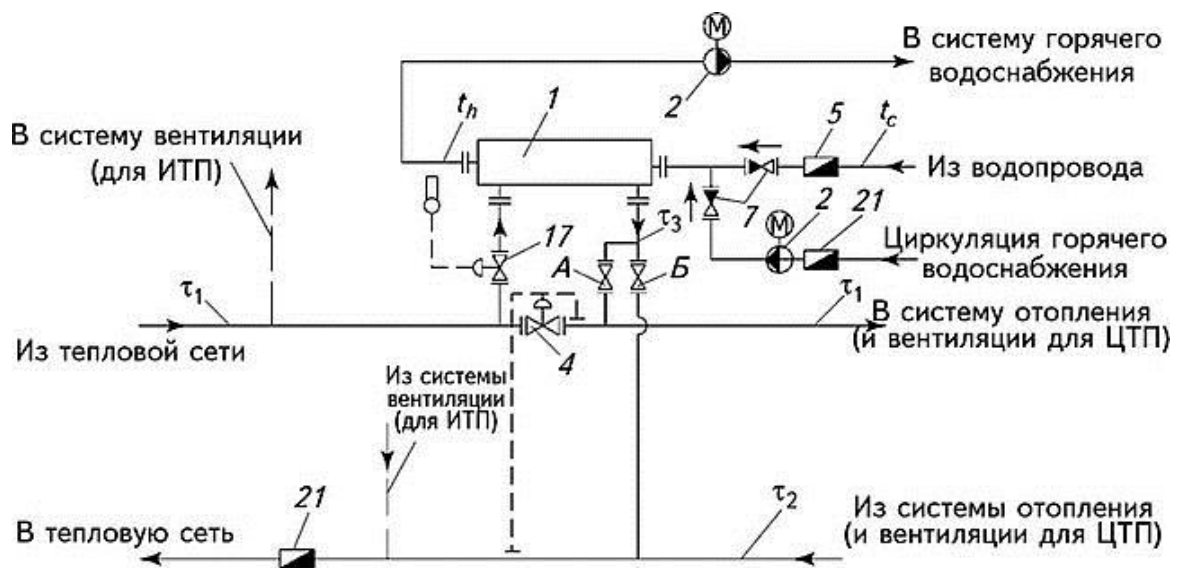


Рисунок 3.20 – Одноступенчатая предвключенная (А - открыта, Б - закрыта) или параллельно включенная (А - закрыта, Б - открыта) схема присоединения водоподогревателей ГВС с зависимым присоединением систем отопления: 1 – ВВП; 2 – повысительно-циркуляционный насос ГВС; 4 – регулятор перепада давлений (прямого действия); 5 – водомер холодной воды; 7 – обратный клапан; 17 – регулятор подачи теплоты на ГВС (прямого действия); 21 – водомер горячей воды; А и Б – задвижки переключений

Постоянство температуры водопроводной воды в системе горячего водоснабжения на уровне 55-60 °С поддерживается **регулятором температуры РПД** прямого действия 17, который воздействует на расход греющей сетевой воды через подогреватель. В ряде случаев у абонента устанавливаются баки-аккумуляторы горячей воды.

При параллельном включении расход сетевой воды равен сумме ее расходов на отопление и горячее водоснабжение. При последовательной схеме он равен только ее расходу на отопление. Тепловая нагрузка горячего водоснабжения при этом покрывается частичным охлаждением сетевой воды, поступающей в систему отопления.

Неиспользованная у потребителя горячая вода циркуляционным насосом 2 подается для рециркуляции в подогреватель горячего водоснабжения.

При параллельной схеме отсутствует утилизация теплоты обратной воды теплообменника отопления для нагревания водопроводной воды.

В летний период система отопления отключается от тепловой сети, циркуляция сетевой воды происходит только через теплообменник горячего водоснабжения 1.

Двухступенчатые схемы различают смешанную и последовательную схемы присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения (рис. 3.21).

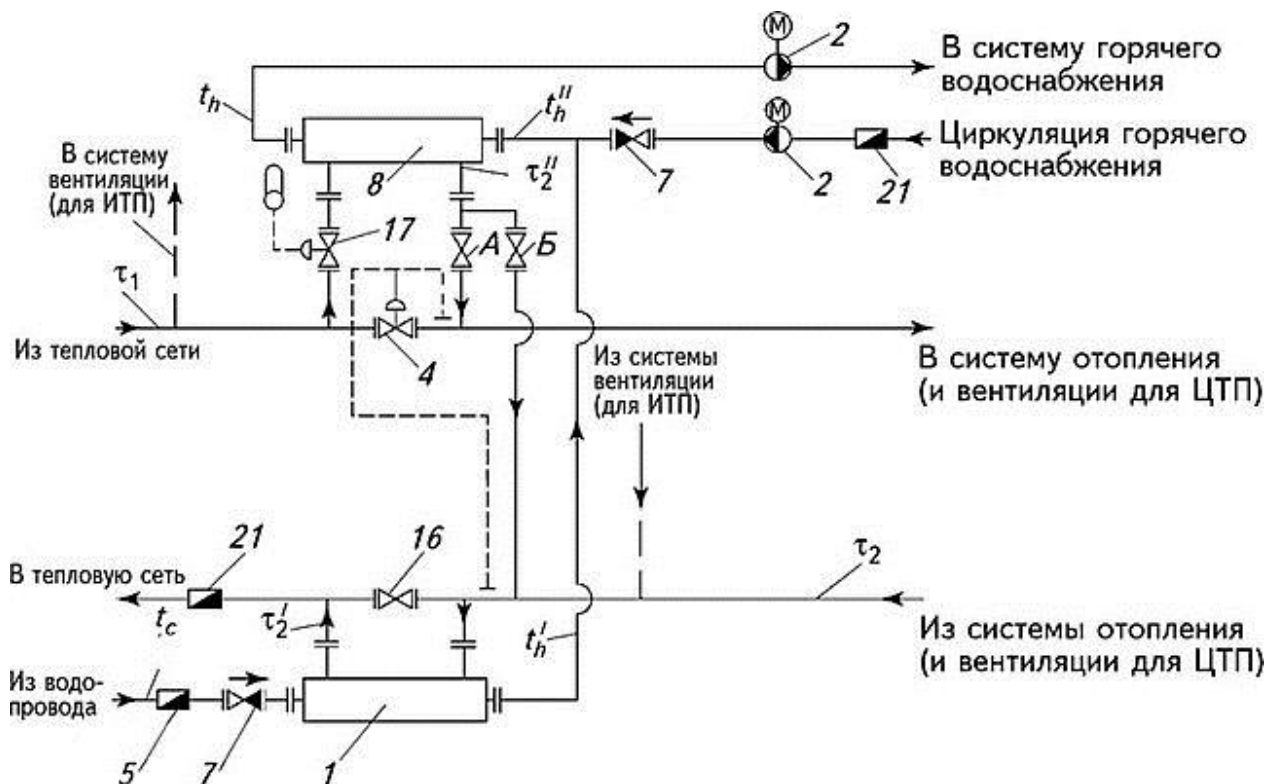


Рисунок 3.21 – Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения с зависимым присоединением систем отопления: 1 – водоподогреватель горячего водоснабжения (первая ступень); 2 – повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения; 4 – регулятор перепада давлений (прямого действия); 5 – водомер для холодной воды; 6 – регулятор подачи теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения максимального расхода сетевой воды на ввод; 7 – обратный клапан; 8 – водоподогреватель горячего водоснабжения (вторая ступень); 16 – задвижка, нормально закрытая; 17 – регулятор подачи теплоты на горячее водоснабжение (прямого действия); 21 – водомер горячеводный; А и Б – задвижки переключений (А – открыта, Б – закрыта – двухступенчатая **последовательная** схема; А – закрыта, Б – открыта – двухступенчатая **смешанная** схема)

В двухступенчатой **последовательной** схеме (рис. 3.21, А открыта, Б закрыта) обе ступени подогревателя ГВС включены последовательно с системой отопления: первая ступень — после системы отопления, вторая — до системы отопления.

Регулятор расхода 4, установленный параллельно второй ступени подогревателя 8, поддерживает постоянным суммарный расход сетевой воды на абонентский ввод независимо от расхода сетевой воды на вторую ступень подогревателя. В часы максимальных нагрузок ГВС вся или большая часть сетевой воды проходит через вторую ступень подогревателя 8, охлаждается в ней и поступает в систему отопления с температурой, ниже требуемой. При этом система отопления недополучает теплоту («недотоп»). Этот недоотпуск теплоты в систему отопления компенсируется в часы малых нагрузок горячего водоснабжения, когда температура сетевой воды, поступающей в систему отопления, выше требуемой при этой наружной температуре. Для этого теплоснабжающим организациям пришлось разработать и ввести в практику регулирования так называемый *повышенный температурный график* отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

В двухступенчатой последовательной схеме суммарный расход сетевой воды меньше, чем в смешанной схеме, благодаря тому, что в ней используется не только теплота сетевой воды после системы отопления, но и *теплоаккумулирующая способность зданий*. Поэтому двухступенчатая схема со смешанным включением подогревателей в настоящее время применяется реже последовательной. Снижение расходов сетевой воды способствует снижению удельной стоимости наружных тепловых сетей.

В **двухступенчатой смешанной схеме** (рис. 3.21, А закрыта, Б открыта) первая ступень подогревателя ГВС включена **последовательно** с системой отопления на обратной линии сетевой воды, а вторая ступень присоединена к тепловой сети **параллельно** с системой отопления. При этом предварительный подогрев водопроводной воды происходит за счет охлаждения сетевой воды после системы отопления, что уменьшает тепловую нагрузку второй ступени и снижает общий расход сетевой воды на горячее водоснабжение. **Утилизация теплоты** обратной воды из теплообменника отопления происходит в нижнем теплообменнике (первая ступень подогрева).

Нормальная подача теплоты в системы отопления осуществляется обычно по одноступенчатой параллельной схеме или двухступенчатой смешанной схеме абонентского ввода. **Связанная подача теплоты** в системы отопления осуществляется по двухступенчатой последовательной схеме.

В схемах (параллельной и смешанной) с *нормальной подачей* теплоты на отопление на трубопроводе, подводящем сетевую воду к теплообменнику отопления, имеется **регулятор давления 4**. Этот автомат и обеспечивает *независимость поступления* сетевой воды в теплообменник отопления от расхода воды через теплообменник горячего водоснабжения, т.е. независимость поступления теплоты в отапливаемые помещения от расхода теплоты в систему горячего водоснабжения. Меняется расход – меняется давление. При изменении разницы давлений запорно-регулирующий элемент

смещается в ту или иную сторону, увеличивая или уменьшая проходное сечение клапана, и тем самым восстанавливая величину расхода.

Схемы абонентских вводов открытых систем теплоснабжения.

В открытых системах теплоснабжения при регулировании по *отопительной* нагрузке системы отопления и горячего водоснабжения абонентов присоединяются к тепловым сетям по принципу *нормальной* подачи теплоты. В случае регулирования по *совмещенной* нагрузке отопления и горячего водоснабжения применяют схемы со *связанной* подачей теплоты в систему отопления.

Нормальная (независимая от горячего водоснабжения) подача теплоты из тепловой сети в систему отопления имеет место при регулировании по *отопительной* нагрузке (при отношении $Q_{\text{hm}}/Q_{\text{omax}} < 0,15$). Расход сетевой воды на отопление поддерживается постоянным при помощи регулятора расхода (РР), установленного на подающем трубопроводе перед теплообменником отопления, и *не зависит* от переменного расхода воды на горячее водоснабжение (рис. 3.22, а).

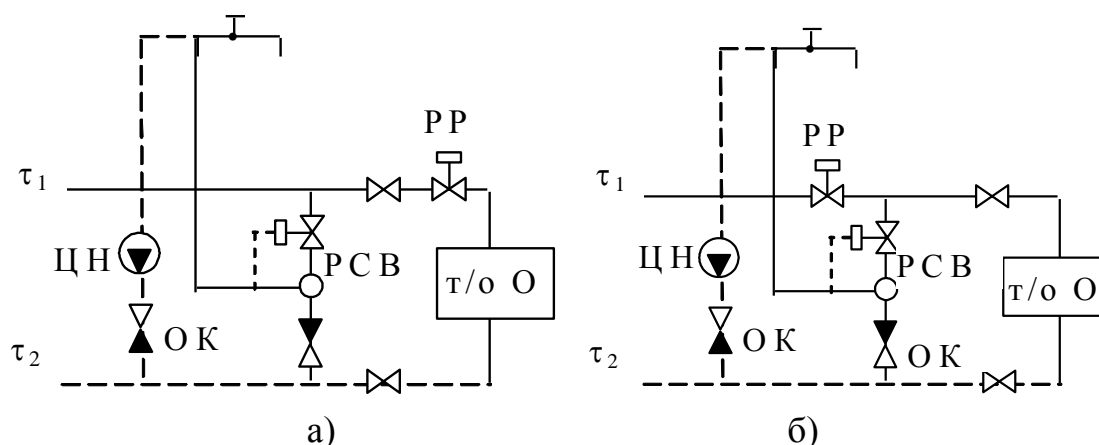


Рисунок 3.22 – Принципиальная схема ввода открытых систем теплоснабжения: с нормальной подачей теплоты в систему отопления (а) и со связанной подачей теплоты в систему отопления (б): ОК – обратный клапан; РСВ – регулятор смешения воды (смеситель); РР – регулятор расхода; т/о О – теплообменник отопления; ЦН – циркуляционный насос

Горячее водоснабжение в открытых системах централизованного теплоснабжения должно присоединяться к подающему и обратному трубопроводам двухтрубных водяных тепловых сетей через **регулятор смешения воды (смеситель)** для подачи в систему горячего водоснабжения воды заданной температуры. **Отбор воды для ГВС из трубопроводов и приборов систем отопления не допускается.**

При центральном качественном регулировании по *совмещенной* нагрузке отопления и горячего водоснабжения (при $Q_{\text{hm}}/Q_{\text{omax}} \geq 0,15$) потребители указанных систем присоединяются к тепловым сетям по

принципу *связанной подачи* теплоты (рис. 3.22, б). Регулятор расхода (РР) установлен на общем для горячего водоснабжения и отопления подающем трубопроводе абонентского ввода (перед отбором воды на горячее водоснабжение) и поддерживает *постоянный расход сетевой воды*, равный расчетному на отопление (при определении расхода сетевой воды на абонентский ввод нагрузку на горячее водоснабжение не учитывают). Небаланс теплоты на отопление компенсируется некоторым *повышением температуры в подающем* трубопроводе по сравнению с отопительным графиком. При этом методе регулирования строительные конструкции здания могут быть использованы в качестве аккумулятора теплоты, выравнивающего неравномерности суточного графика теплотребления.

В этих схемах отбор воды на ГВС из тепловой сети происходит в зависимости от температуры воды в подающем и обратном трубопроводах. Чем выше температура в обратном трубопроводе, тем больше воды забирается из обратной линии и соответственно меньше из подающей линии.

Тема 3.4. Регулирование отпуска теплоты

В любой системе центрального теплоснабжения отпуск тепловой энергии зависит от тепловой нагрузки многочисленных потребителей, которая неоднородна (различна по величине и непостоянна во времени) и изменяется в зависимости от метеорологических условий; режимов работы систем ГВС, вентиляции и кондиционирования воздуха, технологического оборудования и других факторов.

В этих условиях необходимо **регулирование отпуска теплоты** – искусственное изменение параметров и расхода теплоносителя в соответствии с фактической потребностью абонентов.

Система регулирования отпуска теплоты – совокупность мероприятий (метод) изменения количества теплоты, подаваемой потребителям в соответствии с графиками их теплового потребления.

В зависимости от места осуществления различают **виды регулирования**:

Центральное регулирование отпуска теплоты осуществляется на источнике теплоты (ТЭЦ, РК).

Групповое – в узлах регулирования или ЦТП для группы однородных потребителей.

Местное регулирование предусматривается на абонентском вводе (на ИТП) для дополнительной корректировки параметров теплоносителя с учетом местных факторов.

Индивидуальное – непосредственно у теплопотребляющих приборов систем отопления, вентиляции (кондиционирования воздуха) и горячего водоснабжения и дополняет другие виды регулирования.

По условиям эксплуатации центральное регулирование предпочтительнее группового и местного, ему должно отдаваться предпочтение во всех случаях. Однако одним центральным регулированием можно ограничиться только при однородной тепловой нагрузке.

В современных системах центрального теплоснабжения к одним и тем же тепловым сетям присоединены разнородные потребители, которые отличаются видом теплоснабжения (отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, горячее водоснабжение, технология), режимом теплового потребления, параметрами теплоносителя. Кроме того, абоненты могут располагаться на разном расстоянии от источника теплоснабжения, что приводит к транспортному запаздыванию теплоносителя.

Регулирование может осуществляться автоматически и ручным способом. Эффективного регулирования можно достичь только с помощью **систем автоматического регулирования (САР)**. САР используются как при групповом (ЦТП), так и при местном (ИТП) регулировании; они управляют подачей теплоты в группы однотипных теплоснабжающих установок или приборов (рис. 3.23).

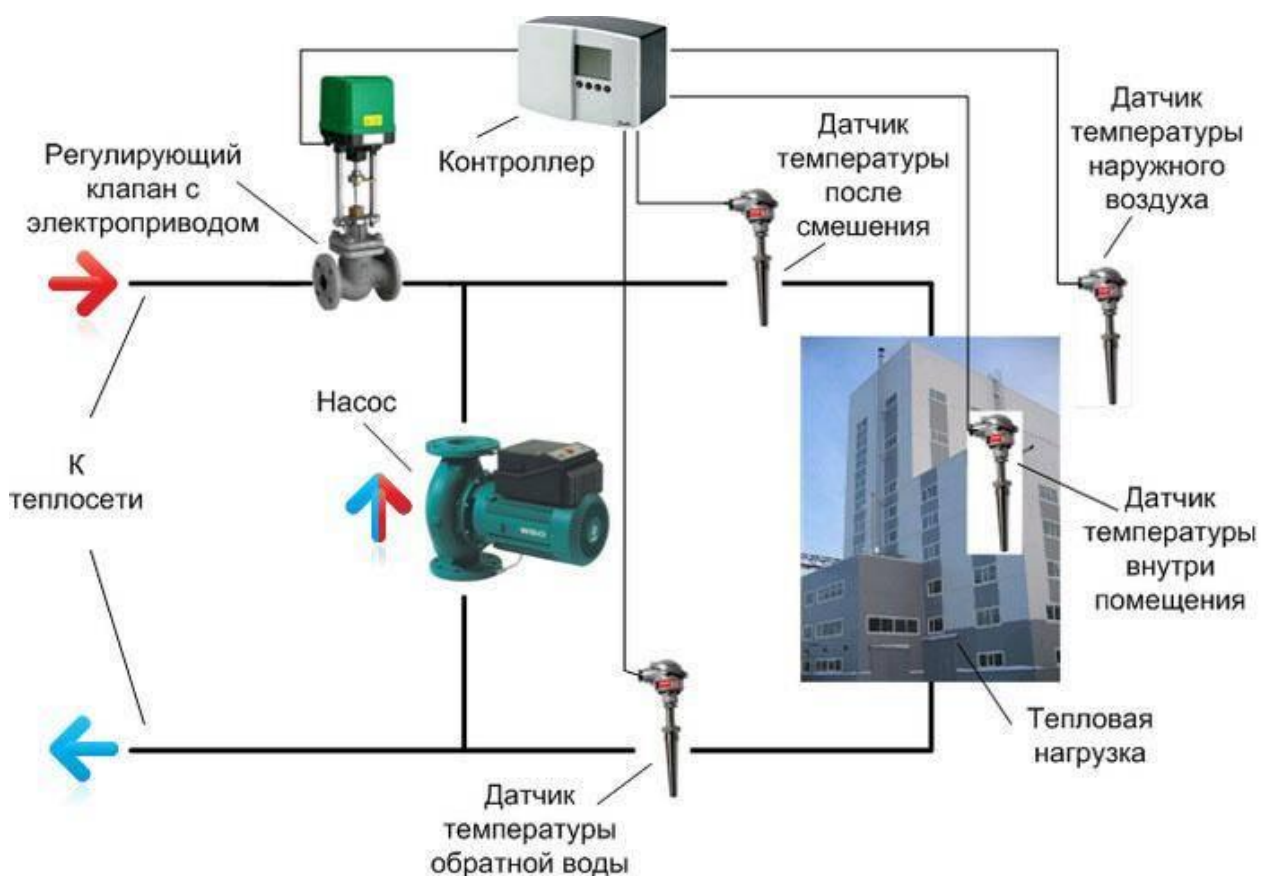


Рисунок 3.23 – Система автоматического регулирования температуры теплоносителя (САРТ)

САРТ осуществляет автоматическое регулирование параметров теплоносителя как в зависимости от температуры (наружного воздуха и внутри помещений), так и в соответствии с разработанным графиком по дням недели, времени года или часам в сутках (ночная разгрузка и разгрузка выходного дня или праздничные дни). Наличие диспетчеризации позволяет вести удалённый контроль состояния и управление режимами работы системы, контроль аварийных и нештатных ситуаций.

Автоматические регуляторы различают: групповые (при групповом и местном регулировании – на всю местную систему потребителей) и **индивидуальные** (на каждом теплопотребляющем приборе). **Индивидуальное регулирование** требует применения большого количества индивидуальных регуляторов, что связано с большими начальными затратами. В настоящее время ведется работа по применению **индивидуальных регуляторов** непосредственно на теплопотребляющих приборах, особенно в домах новой постройки (рис. 3.24).



Рисунок 3.24 – Индивидуальный регулятор температуры для радиаторов отопления

При одновременной подаче теплоты по двухтрубным тепловым сетям для разнородных потребителей центральное регулирование выполняется для **основной (преобладающей)** тепловой нагрузки, а для регулирования иных видов нагрузок используется групповое и местное регулирование. Т.е. центральное регулирование дополняется другими видами регулирования. Такое рациональное сочетание нескольких ступеней регулирования называется **комбинированным регулированием**. Оно создает наиболее полное соответствие между отпуском тепла и фактическим теплопотреблением и является необходимым условием экономичного теплоснабжения.

В большинстве районов типовой преобладающей тепловой нагрузкой является отопление, доля же вентиляции и горячего водоснабжения в отопительный сезон меньше доли отопления.

В городских тепловых сетях преобладающей нагрузкой может быть отопление или **совместная нагрузка** отопления и горячего водоснабжения (т.е. **коммунальная тепловая нагрузка**). На ряде промпредприятий преобладающим является технологическое тепловое потребление. В жилых районах преобладающей нагрузкой является нагрузка водяных систем отопления и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий; в промышленных районах преобладает тепловая нагрузка воздушного отопления и вентиляции.

Правильная организация и надлежащее осуществление регулирования всех видов тепловой нагрузки в соответствии с потребностью абонентов сокращает перерасход тепловой энергии и топлива, тем самым, повышая качество и экономичность теплоснабжения. Т.е. обеспечивает экономичные режимы выработки тепловой в источнике теплоснабжения и транспорт ее по тепловым сетям.

Методы регулирования тепловой нагрузки.

Теплота, вырабатываемая источником теплоснабжения и передаваемая тепловыми сетями, в итоге используется в нагревательных приборах местных систем теплоснабжения, по теплоотдаче которых судят о качестве всего центрального теплоснабжения.

Нагревательные приборы являются наиболее массовым элементом оборудования системы теплоснабжения и отличаются большим разнообразием типов. Применяются отопительные радиаторы, конвекторы, калориферы, водоподогреватели, технологические аппараты. Несмотря на конструктивное разнообразие применяемых нагревательных приборов, все они, как правило, являются теплообменниками поверхностного типа.

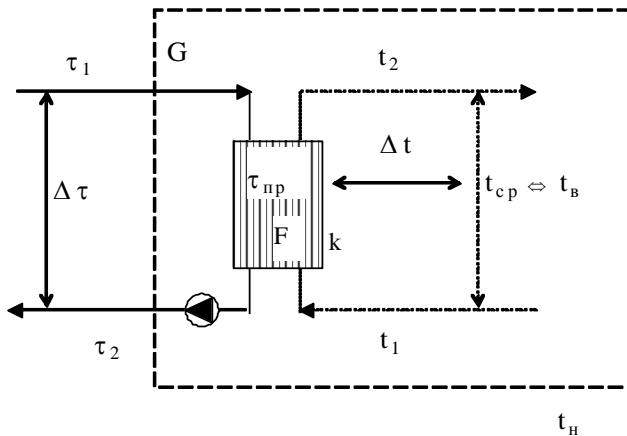
Расчет регулирования тепловой нагрузки в системах теплоснабжения основывается на решении **уравнений теплового баланса и теплопередачи** теплоснабжающих приборов.

Все количество теплоты, полученное от источника теплоснабжения по тепловым сетям, расходуется:

- в нагревательных приборах для нагрева воздуха в помещениях;
- в вентиляционных приточных камерах или кондиционерах для нагревания наружного воздуха;
- в водоподогревателях для нагревания водопроводной воды.

Тепловая нагрузка систем теплоснабжения зависит от режима теплоотдачи нагревательных приборов (рис. 3.25).

При установлении стационарного режима количество теплоты, отдаваемой прибором нагреваемой среде, должно быть равным количеству теплоты, поступающей в прибор с первичным (греющим) теплоносителем.



Греющая среда
 $\Delta \tau = \tau_1 - \tau_2$;
 Нагревательный прибор
 $\tau_{\text{пр}} = (\tau_1 + \tau_2)/2$;
 Нагреваемая среда (воздух)
 $t_{\text{ср}} = (t_1 + t_2)/2$;
 Температурный напор
 $\Delta t = \tau_{\text{пр}} - t_{\text{ср}} =$
 $= (\tau_1 + \tau_2)/2 - (t_1 + t_2)/2$;

Рисунок 3.25 – К регулированию теплоотдачи нагревательных приборов

Уравнение теплового баланса отопительного прибора имеет вид:

$$Q = k F \Delta t n = G c (\tau_1 - \tau_2) n,$$

где Q – количество теплоты, отданное нагревательным прибором или поступающее в прибор, за время n в секундах, кДж;

k – коэффициент теплопередачи нагревательного прибора, кВт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$);

F – поверхность нагрева прибора, м^2 ;

Δt – средняя разность температур греющей и нагреваемой сред (температурный напор):

$$\Delta t = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} - \frac{t_1 + t_2}{2},$$

τ_1, τ_2 – температуры греющего теплоносителя на входе и выходе из теплопотребляющего прибора, $^{\circ}\text{C}$;

t_1, t_2 – температуры нагреваемой среды на входе и выходе из нагревательного прибора соответственно, $^{\circ}\text{C}$;

G – массовый расход первичного (греющего) теплоносителя, поступающего в нагревательный прибор, кг/с;

c – удельная массовая теплоемкость теплоносителя; 4,19 кДж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$).

Уравнение теплового баланса показывает, что теплоотдачу можно регулировать, изменяя любой из членов левой части.

Но регулирование отпуска теплоты в широких пределах воздействием на коэффициент теплопередачи k практически трудно осуществить, т.к. величина его достаточно устойчива. Изменение теплоотдачи включением или выключением части поверхности нагрева F возможно только у потребителей; в этом случае невозможно воспользоваться выгодами центрального регулирования. Изменение времени работы n нагревательных приборов с целью регулирования теплоотдачи может применяться в системах теплоснабжения, но на этом принципе невозможно построить центральное

регулирование при *разнородной* тепловой нагрузке, этот метод может быть применен при местном регулировании.

При теплоносителе воде наибольшие возможности дает регулирование отпуска теплоты изменением средней разности температур греющей и нагревательной сред Δt .

При **паровом теплоносителе** применяются *местные* методы регулирования: изменение *числа часов работы n* – осуществляется *работой «пропусками»¹*; изменение температуры конденсации путем дросселирования – этот метод ограничен из-за невозможности снизить давление в нагревательных приборах ниже 0,1 МПа, а температуру ниже 100°C (иначе система должна работать под вакуумом). Для получения широкого диапазона регулирования необходимо переводить установку на работу под вакуумом, что не всегда возможно.

Из правой части уравнения теплового баланса видно, что тепловая нагрузка может также регулироваться изменением температуры греющего теплоносителя на входе в прибор τ_1 и расхода теплоносителя G . Эти параметры дают практическую возможность **центрального регулирования**. А параметры k , F и n , могут быть практически использованы **при групповом или местном регулировании**.

Если регулирование нагрузки производится на ТЭЦ или в котельной изменением температуры теплоносителя при постоянстве его расхода ($G = \text{const}$), такой метод центрального регулирования называется **качественным**. Расходы воды в системах теплоснабжения и отопления зданий, при качественном регулировании остаются постоянными: $G = \text{const}$.

Если регулирование осуществляется изменением расхода теплоносителя при постоянной его температуре в подающей линии сети ($\tau_1 = \text{const}$), то такой метод называется **количественным**.

Если регулирование производится путем совместного изменения расхода и температуры теплоносителя, такой метод регулирования называется **качественно-количественным**.

Прерывистое регулирование достигается периодическим отключением систем, т.е. пропусками подачи теплоносителя (регулированием пропусками). Центральные пропуски возможны лишь в тепловых сетях с однородным потреблением, допускающим одновременные перерывы в подаче тепла. В современных системах теплоснабжения с разнородной тепловой нагрузкой регулирование пропусками используется для местного регулирования.

В паровых системах теплоснабжения качественное регулирование неприемлемо, т.к. изменение температур в необходимом диапазоне требует большого изменения давления. Центральное регулирование паровых систем производится в основном количественным методом или путем пропусков. Однако периодическое отключение приводит к неравномерному прогреву

¹ Работа «пропусками» – т.е. прерывистая подача теплоносителя.

отдельных приборов и к заполнению системы воздухом. Более эффективно местное или индивидуальное количественное регулирование.

В водяных системах теплоснабжения принципиально возможно использовать три метода центрального регулирования: качественный, количественный и качественно-количественный.

Согласно нормам проектирования тепловых сетей для водяных тепловых сетей следует принимать, как правило, качественное регулирование отпуска теплоты. При обосновании допускается регулирование отпуска теплоты – количественное, а также качественно-количественное.

В настоящее время (при автоматизации абонентских вводов) в городских водяных системах основное применение имеет центральное качественное регулирование, дополняемое на ЦТП или ИТП количественным регулированием.

Основным достоинством центрального качественного регулирования является стабильность гидравлического режима тепловой сети, что облегчает наладку и эксплуатацию. Однако расходы на перекачку теплоносителя при качественном регулировании больше, чем при количественном и качественно-количественном методах.

Основным достоинством центрального количественного регулирования является сокращение расхода электроэнергии на перекачку теплоносителя, а недостатком – гидравлическая разрегулировка местных систем, являющаяся следствием переменного гидравлического режима тепловой сети.

Выбор метода регулирования тепловой нагрузки.

При выборе метода регулирования *водяных* систем теплоснабжения основными факторами являются *вид* тепловой нагрузки и *схемы узлов присоединения* абонентов.

Центральное регулирование обычно выполняется по *преобладающей* тепловой нагрузке в зависимости от соотношения нагрузок горячего водоснабжения и отопления.

Согласно нормам проектирования тепловых сетей для *водяных тепловых сетей* следует принимать, как правило, *качественное* регулирования отпуска теплоты по нагрузке *отопления* или по *совмещенной нагрузке* отопления и горячего водоснабжения согласно графику изменения температуры воды в зависимости от температуры наружного воздуха.

При центральном качественном регулировании в системах ТС с преобладающей (более 65%) *жилищно-коммунальной нагрузкой*² следует принимать регулирование по *совмещенной нагрузке* отопления и горячего водоснабжения. А при тепловой нагрузке жилищно-коммунального сектора менее 65% от суммарной тепловой нагрузки и доле средней нагрузки горячего водоснабжения менее 15 % от расчетной нагрузки отопления – регулирование *по нагрузке отопления*. Т.е. при соотношении

² *Жилищно-коммунальная нагрузка* – тепловая нагрузка на отопление и ГВ жилых и общественных зданий.

Температуры, °С, в подающем трубопроводе и в обратном трубопроводе при расчетной температуре наружного воздуха $t_{н.о}$ определяются по формулам

$$\tau_1 = t_{г.п} + \Delta t' \left(\frac{t_{г.п} - t_n}{t_{г.п} - t_{н.о}} \right)^{0,8} + (\Delta \tau' - 0,5\theta') \frac{t_{г.п} - t_n}{t_{г.п} - t_{н.о}};$$

$$\tau_2 = t_{г.п} + \Delta t' \left(\frac{t_{г.п} - t_n}{t_{г.п} - t_{н.о}} \right)^{0,8} - 0,5\theta' \frac{t_{г.п} - t_n}{t_{г.п} - t_{н.о}},$$

где τ_1 – температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети;

τ_2 – температура воды в обратном трубопроводе после системы отопления;

$t_{г.п}$ – средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, принимаемая для жилого района равной 18 °С;

Δt – температурный напор нагревательного прибора. При элеваторном смешении воды в узле ввода:

$$\Delta t = \frac{\tau_3 + \tau_2}{2} - t_{г.п} = \frac{95 - 70}{2} - 18 = 64,5 \text{ °С},$$

τ_3 – температура воды в подающем трубопроводе местной системы отопления после элеватора, принимается 95°С;

$\Delta \tau$ – расчетный перепад температур воды в тепловой сети: $\Delta \tau = \tau_1 - \tau_2$;

θ – расчетный перепад температур в местной системе отопления:

$$\theta = \tau_3 - \tau_2 = 95 - 70 = 25 \text{ °С}.$$

Задаваясь различными значениями температуры наружного воздуха t_n в пределах от +8°С до $t_{в.п}$, определяют температуру воды в подающем и обратном трубопроводе – τ_1 и τ_2 . По полученным значениям строят **отопительный график** температур воды в тепловой сети (рис. 3.27). Этот график состоит из двух зависимостей $\tau_1 = f(t_n)$ и $\tau_2 = f(t_n)$.

Так как по тепловым сетям одновременно подается теплота на отопление и горячее водоснабжение, для удовлетворения тепловой нагрузки горячего водоснабжения необходимо внести коррективы в отопительный график температур воды.

Учитывая ограничение наименьших температур воды в подающем трубопроводе тепловых сетей, на отопительном графике температур делают **срезку**:

- для закрытых систем теплоснабжения на уровне 70°С (т.к. необходим нагрев водопроводной воды в теплообменнике до 60...65°С);

- для открытых систем теплоснабжения – на уровне 60°С.

Полученный график температур называется **отопительно-бытовым**. Он имеет вид ломаной линии с точкой излома ($t'_н$).

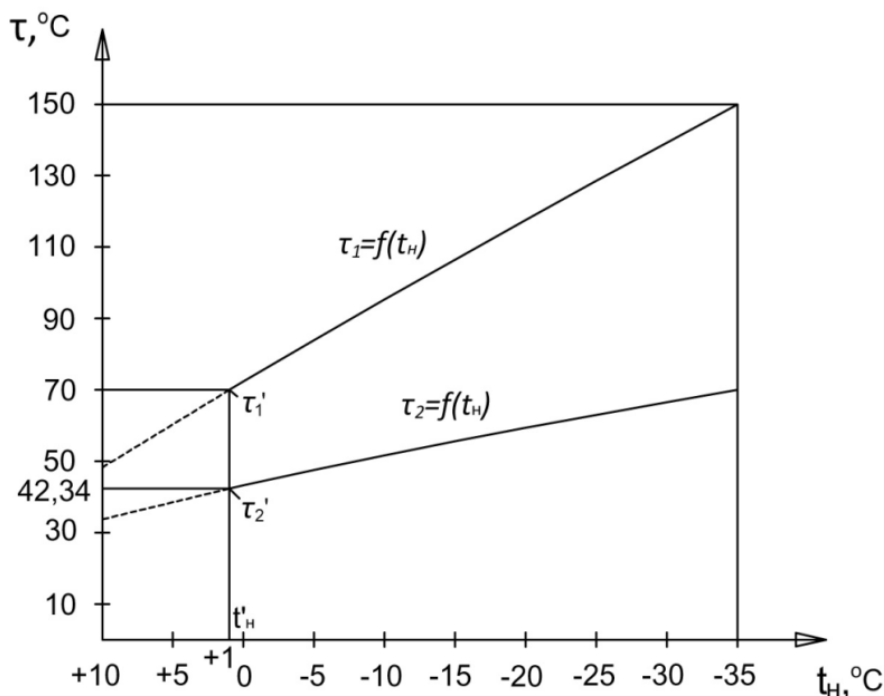


Рисунок 3.27 – График температур воды в подающей и обратной магистралях при центральном качественном регулировании по отопительной нагрузке (отопительно-бытовой график температур)

Точкой излома графика температур называется температура наружного воздуха $t'_н$ (или $t_n^{\text{изл}}$), при которой в подающем трубопроводе тепловой сети происходит **ограничение минимально допустимой температуры сетевой воды** и поддержание ее на постоянном уровне, обусловленное необходимостью поддержания температуры горячей воды, поступающей к водоразборным приборам зданий, на заданном уровне (не ниже 50 °C и не выше 75 °C).

Точка излома графика делит его на две части с различными режимами регулирования: в диапазоне температур наружного воздуха от $t'_н$ до $t_{в.р}$ осуществляется **центральное качественное** регулирование (ЦКР) отпуска теплоты; при температурах наружного воздуха выше $t'_н$ центральное качественное регулирование сезонной нагрузки во избежание перегрева помещений дополняется **местным количественным** регулированием.

Данный отопительно-бытовой график применяется при регулировании по нагрузке отопления. При регулировании по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения отопительно-бытовой график корректируется, т.е. вода в тепловых сетях несколько завышается – строятся **повышенные графики** температур.

Расчетные температуры теплоносителя определяют в зависимости от вида расчета, к ним относятся:

- **средняя за отопительный сезон** температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах – для выполнения гидравлического расчета;

- **среднегодовая** температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах – для выполнения расчета тепловой изоляции трубопроводов.

Средние за год и за отопительный период значения температур теплоносителя определяются из проектного температурного графика отпуска тепла как **средневзвешенные по времени** из среднемесячных по формуле

$$t_m = \sum \tau_m^i n_i / \sum n_i ,$$

где τ_m^i – средняя температура сетевой воды в трубопроводе за i -й месяц расчетного периода, °С;

n_i – продолжительность в часах i -го месяца расчетного периода.

Среднемесячные температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах определяются:

- в отопительном периоде – из проектного температурного графика для данных тепловых сетей по среднемесячной температуре наружного воздуха;

- в летний (межотопительный) период в *закрытых* системах в подающем трубопроводе – 70 °С, в обратном – 35 °С;

- в летний (межотопительный) период в *открытых* системах в подающем трубопроводе – 60 °С, в обратном – 50 °С;

При определении среднемесячных температур теплоносителя учитывают продолжительность периода работы теплосети часть месяца в режиме отопительного, а часть межотопительного (летнего) периода. Также учитывают отключение тепловой сети в летний период на профилактический ремонт (15 суток).

В практических расчетах можно использовать рекомендуемые значения температур теплоносителей согласно **ТКП 642-2019** и **СН 4.02.01-2019**.

Раздел IV. Транспорт тепловой энергии

Тема 4.1. Устройство тепловых сетей

Тепловая сеть – совокупность устройств, включая центральные тепловые пункты, насосные станции, предназначенных для передачи тепловой энергии, теплоносителя от источников тепловой энергии до теплопотребляющих установок.

К тепловым сетям относятся наружные теплопроводы, проложенные вне зданий. Теплопроводы, проложенные в пределах здания до аппаратов-теплоприемников, вместе с последними образуют **местную систему** потребления теплоты.

Тепловые сети, которые подводят тепло к промышленным предприятиям, называют **промышленными**, к жилым и общественным зданиям – **коммунальными**, к предприятиям и гражданским зданиям – **смешанными**.

Различают транзитные, магистральные, распределительные трубопроводы и ответвления.

Магистральные сети всегда транзитные и не имеют ответвлений. Магистральные сети транспортируют тепловую энергию от источника, до распределительных тепловых сетей. Температура теплоносителя от 90 до 150 градусов. Диаметр труб от 525 мм до 1020 мм.

Распределительные тепловые сети, это те сети, по которым тепло передается от магистральных тепловых сетей непосредственно к домам. Диаметр труб в распределительных сетях зависит от количества домов и квартир, которые получают тепло и не превышают 525 мм. Температура в распределительных сетях от 85 до 110 градусов.

Квартальные тепловые сети, это трубопроводы, соединяющие конкретных потребителей тепла с распределительной тепловой сетью внутри кварталов городской застройки.

Ответвление это участок тепловой сети, присоединяющий тепловой пункт к магистральной тепловой сети. Или здание, присоединенное к распределительной тепловой сети.

Схемы тепловых сетей в плане могут быть двух видов: радиальные и кольцевые (рис. 4.1).

Радиальная схема теплоснабжения представляет собой тупиковые ответвления ко всем объектам. В случае аварии эти объекты оказываются отключенными. **Кольцевая схема** теплоснабжения более надежна и бесперебойна в работе. В ней все ветки мелких ответвлений объединены в общий контур. Тепловые сети разных районов города могут быть соединены между собой, чтобы в случае выхода из строя одного источника тепла его мог дублировать другой. Это позволяет бесперебойно снабжать теплом все районы города и одновременно устранять неисправность.

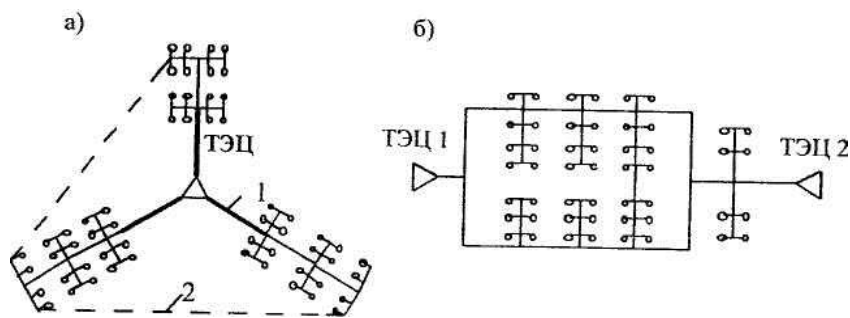


Рисунок 4.1 – Конфигурация тепловых сетей: радиальная (а) и кольцевая (б);
1 – магистральные трубопроводы; 2 – перемычки

Элементами тепловых сетей являются: соединенные между собой трубы, тепловая изоляция, компенсаторы, опоры, запорная и регулирующая арматура, специальные конструкции, камеры и колодцы, дренажные и воздухопускные устройства и др.

Тепловые сети монтируют из стальных электросварных **труб**, расположенных на специальных опорах. На трубах устраивают запорную и регулирующую **арматуры** (задвижки, вентили).

Опоры трубопроводов создают горизонтальное незыблемое основание. Интервал между опорами определяют при проектировании. Опоры тепловых сетей подразделяют на неподвижные и подвижные. Неподвижные опоры фиксируют расположение конкретных мест сетей в определенной позиции, не допускают никаких смещений. Подвижные опоры допускают перемещение трубопровода по горизонтали вследствие температурных деформаций.

Между неподвижными опорами на расчетных расстояниях располагают П-образные удлинения труб, компенсирующие температурные напряжения, удлиняющие трубопровод (рис. 4.2). **Компенсаторы** предохраняют сети от разрушений.

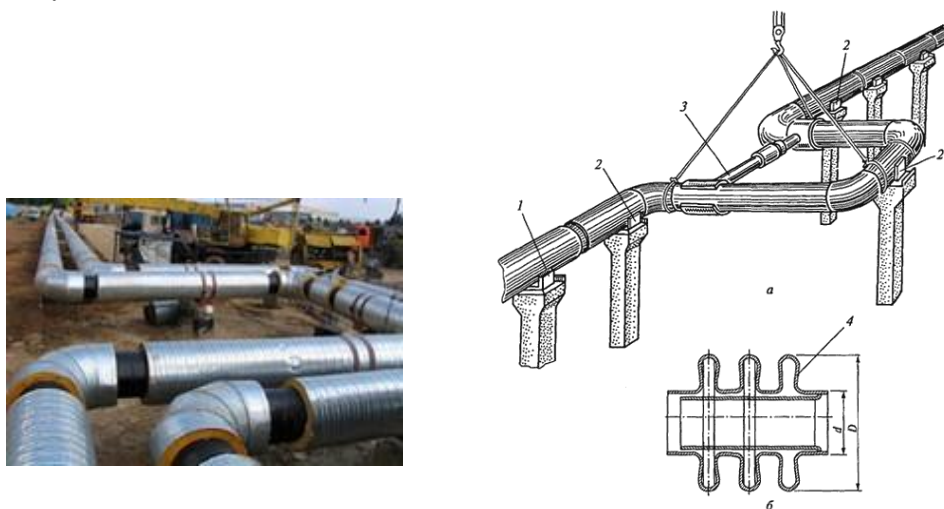


Рисунок 4.2 – Компенсаторы: а – П-образный; б – линзовый; 1, 2 – опоры неподвижная и подвижная соответственно; 3 – винтовая растяжка; 4 – линзовый компенсатор

Для размещения на теплотрассе отключающей арматуры, неподвижных опор устраивают **камеры** высотой 2 м (рис. 4.3). В них спускаются через люки.

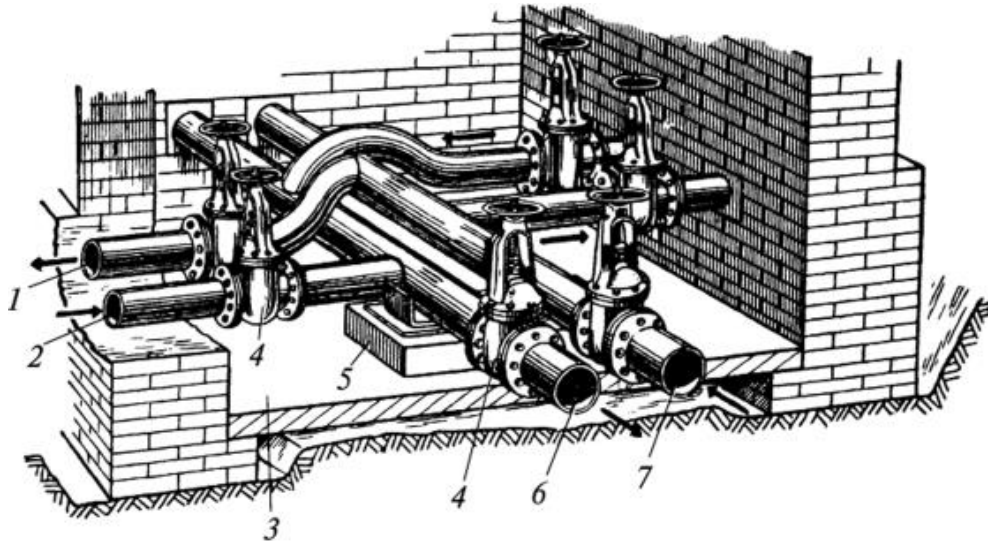


Рисунок 4.3 – Камера для установки задвижек на тепловых сетях: 1, 2 – ответвления подающего (7) и обратного (6) магистрального трубопровода; 3 – камера; 4 – параллельные задвижки; 5 – опоры трубопроводов; 6, 7 – магистральные трубопроводы соответственно обратный и подающий

В зависимости от **типа прокладки сетей**, тепловые сети разделяются на воздушные (надземные) и подземные (рис. 4.4).

Воздушные тепловые сети имеет распространение в районах с подвижными грунтами, на территориях, где укладка сетей под землю затруднительна из-за плотной застройки или наличия уже существующих подземных коммуникаций. Трубопровод монтируется на предварительно установленные металлические опоры. Надземная прокладка дешевле, но часто недопустима по эстетическим соображениям.



Рисунок 4.4 – Способы прокладки тепловых сетей: надземная (а); канальная (б); бесканальная (в)

Подземная прокладка наиболее распространена. Различают канальную и бесканальную прокладки трубопроводов.

Канальная прокладка трубопроводов дороже, но надежнее, так как стенки канала защищают трубы от случайных воздействий, блуждающих токов и т.д. Каналы делают кирпичными и железобетонными. По конструкции они бывают проходные (высотой 2 м), полупроходные (высотой 1,4м) и непроходные. Трубы укладываются в предварительно смонтированный бетонный канал. Такой канал защищает трубопровод от грунтовых воздействий и коррозионного влияния почвы. Каналы бывают лотковые и монолитные, заливаемые в процессе укладки.

Бесканальная прокладка теплопроводов – простой и дешевый способ заложения, поэтому он наиболее распространен, особенно при реконструкции и в малоэтажной застройке. Трубы укладываются непосредственно в грунт, без монтажа специального бетонного канала. Этот способ имеет, однако, большие недостатки: коррозия, трудоемкость ремонта, отсутствие периодического надзора. Частично их преодолевают, защищая трубы от внешних воздействий грунта изоляционным материалом, цементной коркой и гидроизоляцией.

В настоящее время вместо ранее применявшейся армопенобетонной бесканальной прокладки трубопроводов очень широкое применение получили **теплоизолированные пенополиуретановые (ППУ) системы трубопроводов**. Принципиальной особенностью этого вида прокладки трубопроводов является практически полная герметичность конструкции, позволяющая располагать трубопроводы тепловых сетей во влажных грунтах без дополнительной гидроизоляции и попутного дренажа. Кроме того, конструкция прокладки трубопроводов может быть оборудована **системой оперативного дистанционного контроля (СОДК)**, позволяющей систематически отслеживать и находить места увлажнения изоляции. При этом способе бесканальной прокладки используют трубы с теплоизоляцией из пенополиуретана диаметром от 57 до 1020 мм в гидроизоляционной оболочке из плотного полиэтилена.

При выборе способа прокладки теплопроводов главной задачей является обеспечение долговечности, надежности и экономичности решения.

Тепловая сеть — один из наиболее дорогостоящих и трудоемких элементов систем централизованного теплоснабжения.

Предприятия тепловых сетей при эксплуатации систем тепловых сетей должны обеспечить надежность теплоснабжения потребителей, подачу ему теплоносителей (воды и пара) с расходом и параметрами в соответствии с температурным графиком регулирования и перепадом давления на вводе.

В процессе эксплуатации все действующие тепловые сети должны подвергаться испытаниям на прочность и плотность для выявления дефектов не позже, чем через две недели после окончания отопительного сезона. Контроль состояния тепловых сетей и тепловой изоляции, режимов их

работы производится путем регулярного, по графику, обхода теплопроводов и тепловых пунктов, осуществляемых как слесарями-обходчиками, так и мастерами.

При текущей эксплуатации тепловых сетей необходимо:

- поддерживать в исправном состоянии все оборудование, строительные и другие конструкции тепловых сетей, проводя своевременно их осмотр и ремонт;
- наблюдать за работой компенсаторов, опор, арматуры, дренажей, воздушников, контрольно-измерительных приборов и других элементов оборудования, своевременно устраняя выявленные дефекты и неплотности;
- выявлять и восстанавливать разрушенную тепловую изоляцию и антикоррозионное покрытие;
- удалять скапливающуюся в каналах и камерах воду и предотвращать попадание туда грунтовых и верховых вод;
- отключать неработающие участки сети;
- своевременно удалять воздух из теплопроводов через воздушники, не допускать присоса воздуха в тепловые сети, поддерживая постоянно необходимое избыточное давление во всех точках сети и системах теплоснабжения;
- поддерживать чистоту в камерах и проходных каналах, не допускать пребывания в них посторонних лиц;
- принимать меры к предупреждению, локализации и ликвидации аварий и инцидентов в работе тепловой сети;
- осуществлять контроль за коррозией.

При эксплуатации тепловых сетей важной задачей является **контроль за утечками теплоносителя** из трубопроводов и систем теплоснабжения. **Шурфовки (раскопки и вскрытие)** тепловых сетей являются одним из важных элементов их эксплуатации. Они проводятся для контроля за состоянием подземных теплопроводов, теплоизоляционных и строительных конструкций и подразделяются на плановые и аварийные.

В случае повреждения трубопроводов или связанного с ними оборудования принимаются меры к ликвидации этих повреждений.

По причинности возникновения аварий на теплосети можно выделить две группы процессов: *постепенные процессы* ухудшения состояния сети (например, коррозия), которые ведут в дальнейшем к внезапной аварии (через 3...5 лет), и *стихийные процессы*, ведущие к молниеносной аварии (гидроудар, тепловое расширение и др.). И те и другие процессы можно прогнозировать и отслеживать с целью их предупреждения.

Теплоснабжение в рыночных условиях сегодня немыслимо без технической (приборной) **диагностики трубопроводов**, которая должна и может быть только комплексной. Это означает, что методы и способы диагностирования, различные по степени охвата, должны дополнять друг друга и таким образом получать наиболее достоверный результат.

В первую очередь, это широкое **применение средств вычислительной техники и программного обеспечения** для приведения в порядок технической документации на тепловые сети; для ведения статистического учета отказов и повреждений; для ведения баз различных данных и внедрения геоинформационных систем и, в конечном счете, для создания электронной модели схемы теплоснабжения.

На следующем этапе, особенно для крупных населенных пунктов, прекрасные результаты дает ежегодная **тепловизионная аэрофотосъемка**, которая по тепловыделениям позволяет выявить крупные участки наиболее аварийно-опасных участков тепловых сетей.

С помощью инструментальной проверки можно сделать вывод о состоянии изоляции и несущей (рабочей) трубы, пригодности к дальнейшей эксплуатации или необходимости перекладки отдельных участков тепловых сетей. Для этих целей существует целый ряд методов (акустический, акустической эмиссии, диагностические снаряды и т.д.) и соответствующих приборов и оборудования, которые способны выявить как существующие повреждения теплопроводов, так и потенциально-опасные участки. Такие работы выполняют специализированные организации, а в ряде крупных компаний созданы собственные передвижные лаборатории, укомплектованные аналогичным собственным оборудованием и прошедшими обучение сотрудниками.

Основная задача, которую надо решать в тепловых сетях, – уменьшение издержек за счет повышения надежности и долговечности трубопроводов и снижения тепловых потерь, уровень которых на сегодняшний день непозволительно высок. Чрезвычайно важной задачей для трубопроводов тепловых сетей является задача внедрения новых материалов для несущей (рабочей) трубы, с целью снижения повреждений от внутренней коррозии.

РАСЧЕТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ. При проектировании тепловых сетей выполняют: гидравлический расчет; тепловой расчет; механический расчет.

Механический расчет. Элементы трубопроводов пара и горячей воды находятся под воздействием: внутреннего давления рабочей среды; веса труб, арматуры и тепловой изоляции; напряжений самокомпенсации, возникающих в результате теплового расширения; внешнего воздействия снега, ветра, грунта, транспорта.

В действующем теплопроводе возникают многочисленные напряжения: внутреннее давление вызывает напряжение растягивания; нагрузки – напряжение изгиба; под действием теплового расширения возникают изгибающие и сжимающие усилия в трубопроводах, расположенных в одной плоскости; сжатие, изгиб и кручение – в пространственных трубопроводах.

Поэтому для трубопроводов тепловых сетей производят **механический расчет трубопроводов** – расчет на прочность и компенсацию температурных

расширений, который сводится к определению допустимого суммарного напряжения и толщины стенки трубы.

Тема 4.2. Гидравлический расчет теплопроводов

Гидравлический расчет (ГР), является одним из важнейших разделов проектирования и эксплуатации тепловых сетей. В **задачу** гидравлического расчета входит определение: диаметров теплопроводов; давления/напора в различных точках сети; потерь давления/напора по длине трубопроводов (т.е. на участках); разности давлений/напора в подающем и обратном трубопроводах водяной тепловой сети у каждого потребителя.

Гидравлический расчет может проводиться не только на этапе проектирования, но и для действующей тепловой сети:

- по известным диаметрам трубопроводов при заданной потере давления, определяют пропускную способность сети;

- по готовой схеме сети и при заданных расходах теплоносителей, определяют потерю давления.

Смысл технико-экономического расчета тепловых сетей сводится к следующему. Как известно, от принятых диаметров трубопроводов зависят гидравлические потери в них. С одной стороны, с уменьшением диаметра уменьшается расход сырья (металла), следовательно, снижается стоимость системы и повышается ее экономическая эффективность. С другой стороны, чем меньше диаметр, тем больше гидравлические потери, следовательно, растет напор сетевых насосов и возрастает их стоимость и количество энергии, расходуемой на перекачку теплоносителя.

При таких условиях всегда существуют **оптимальные диаметры** трубопроводов, при которых суммарная стоимость сети будет минимальной. Следовательно, ТЭР непосредственно связан с гидравлическим расчетом и позволяет по формулам гидравлики однозначно рассчитать диаметры всех элементов тепловой сети.

В системах централизованного теплоснабжения для отопления, вентиляции и ГВС жилых, общественных и производственных зданий в качестве теплоносителя следует, как правило, принимать воду. Следует также проверять возможность применения воды как теплоносителя для технологических процессов.

Расчетные расходы теплоносителя в водяных тепловых сетях определяются согласно СН 4.02.01-2019 Тепловые сети.

Расчетный расход сетевой воды для определения диаметров трубопроводов в водяных тепловых сетях следует определять отдельно для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения с последующим суммированием этих расходов воды.

При проведении гидравлического расчета **искомыми величинами** являются: **диаметры** трубопроводов, которые рассчитываются на суммарные

зимние расходы теплоносителя и **потери давления/напора** на участках трубопроводов.

Гидравлический расчет трубопроводов водяных тепловых сетей базируется на общих законах гидравлики, формулы которых приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – **Формулы для гидравлического расчета** трубопроводов водяных тепловых сетей согласно **ТКП 45-4.02-182-2009**

Определяемая величина	Единица измерения	Формула
Суммарные потери давления в трубопроводах на трение и в местных сопротивлениях	Па	$\Delta P = RL'$
Удельные потери давления на трение	Па/м	$R = 6,27 \cdot 10^{-8} \lambda \frac{G_d^2}{D_i^5 \rho}$
Приведенная длина трубопровода	м	$L' = L + L_e$
Эквивалентная длина местных сопротивлений (при отсутствии данных об их характере и количестве)	м	$L_e = a_1 \cdot L$
Коэффициент гидравлического трения: для области квадратичного закона (при $Re \geq Re'$) для любых значений числа Рейнольдса (приближенно)	--	$\lambda = \frac{l}{\left(1,14 + 2lg \frac{D_i}{k_e}\right)^2}$ $\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{k_e}{D_i} - \frac{68}{Re}\right)^{0,25}$
Предельное число Рейнольдса	--	$Re' = 560 \cdot \frac{D_i}{k_e}$
Число Рейнольдса	--	$Re = \frac{\omega D_i}{\nu}$
Скорость движения жидкости	м/с	$\omega = \frac{4 G_d}{3600 \rho \pi D_i^2}$

Принятые в формулах обозначения:

λ – коэффициент гидравлического трения;

G_d – суммарный расчетный расход сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях открытых и закрытых систем теплоснабжения, кг/ч;

D_i – внутренний диаметр труб, м;

ρ – средняя плотность теплоносителя на рассчитываемом участке, кг/м³;

L – длина участка трубопровода по плану, м;

L_e – эквивалентная длина местных сопротивлений, м;

a_1 – коэффициент местных сопротивлений;

k_e – эквивалентная шероховатость внутренней поверхности труб, м;

Re' – предельное число Рейнольдса, характеризующее границы переходной области и области квадратичного закона;

ω – скорость движения жидкости, м/с;

ν – кинематический коэффициент вязкости, м²/с.

Наиболее используемый метод гидравлического расчета – **по удельным линейным потерям давления** (R , Па/м). Определение диаметров теплопроводов проводится **по справочным таблицам или номограммам**, составленным для труб с коэффициент эквивалентной шероховатости для водяных тепловых сетей $k_e = 0,0005$ м. В этом случае гидравлический расчет проводится по известным значениям расхода теплоносителя и удельным потерям давления на трение.

В случаях, когда располагаемый перепад давления в водяной тепловой сети не задан, удельные потери давления на трение **следует принимать**: вдоль *главной магистрали* от источника тепла до наиболее удаленного потребителя – до 80 Па/м ($R = 30 \dots 80$ Па/м); для остальных участков (*ответвлений*) – по располагаемому перепаду давления, но не более 300 Па/м. Скорость движения воды в трубопроводе не должна превышать 3,5 м/с.

Гидравлический расчет водяных тепловых сетей производят для зимнего, летнего, а также для аварийного режима в зимний период. ГР закрытой системы теплоснабжения выполняется для подающего теплопровода, принимая диаметр обратного теплопровода и падение давления в нем такими же, как и в подающем.

Диаметр труб независимо от расчетного расхода теплоносителя должен приниматься в тепловых сетях – не менее 32 мм, а для циркуляционных трубопроводов горячего водоснабжения – не менее 25 мм.

Последовательность гидравлического расчета:

1. Зная расходы теплоносителя у каждого потребителя, выполняют **загрузку** тепловой сети – вычисляют расчетные расходы теплоносителя для всех участков тепловой сети простым суммированием расчетных расходов потребителей, двигаясь от абонентов против движения теплоносителя к источнику теплоснабжения.

2. Выбирают **расчетную магистраль** – наиболее протяженную по длине и загруженную расходу теплоносителя, соединяющую источник теплоснабжения с дальними потребителями. Это направление характеризуется наименьшим удельным падением давления R , Па/м.

3. Расчетную схему тепловой сети разбивают на **расчетные участки** – для этого нумеруют все участки с начала основной магистрали, затем ответвления от нее. На расчетную схему для всех участков тепловой сети наносят значения расчетных расходов теплоносителя и длины расчетных участков теплопроводов.

4. Рассчитывают **главную магистраль**, начиная с конечного участка расчетной магистрали. С помощью справочных таблиц по известным на участках расходам теплоносителя (кг/с) и величине $R = 30 \dots 80$ Па/м определяют **внутренние диаметры** трубопровода, по которым уточняют наружный и условный диаметры трубы.

5. Для выбранного внутреннего диаметра трубы по формулам гидравлики согласно рассчитывают (уточняют) действительные удельные потери давления на трение R , Па/м, и действительные суммарные потери давления на участках тепловой сети: ΔP , Па. Скорость теплоносителя не должна превышать 3,5 м/с.

При отсутствии сведений о местных сопротивлениях тепловой сети **эквивалентные длины** местных сопротивлений можно определить, используя данные **СН 4.02.01-2019**. Для труб $D_y < 200$ мм, как правило, принимают П-образные компенсаторы, для $D_y \geq 200$ мм – сальниковые компенсаторы, т.к. при малых диаметрах они плохо работают.

6. Определяют **суммарные потери давления** $\sum \Delta P$ от источника теплоснабжения для всех участков расчетной магистрали. Данные расчета основной магистрали наносят на расчетную схему: D_y ; местные сопротивления (условные обозначения компенсаторов, принятых к установке, задвижки).

7. Рассчитывают **ответвления** от главной магистрали. Расчет ведут по **располагаемому перепаду давлений**, в точке присоединения ответвлений к расчетной магистрали. При этом потери давления ΔP на участке ответвления определяют из условия равенства потерь напора от источника теплоснабжения до любой конечной точки тепловой сети. Средние удельные падение давления для участков определяют по формуле

$$R = \Delta P / (L (1 + a_1)) \leq 300 \text{ Па/м.}$$

Ориентировочное значение коэффициента местных сопротивлений заданной тепловой сети определяют по формуле

$$a_1 = z \sqrt{G_d},$$

где z – коэффициент, для водяных сетей $z = 0,01$;

G_d – расход теплоносителя в начале магистрали (у источника теплоснабжения), т/ч. Если расход в кг/с, то для водяных сетей $z = 0,019$.

Далее расчет ведут согласно пункта 4 и далее. Данные расчета ответвлений наносят на расчетную схему.

8. Определяют **невязку (расхождение)** потерь давления на параллельно соединенных участках трубопровода ответвления и основной магистрали.

Невязка между потерями давления в ответвлениях и располагаемым (фактически существующим) давлением основной магистрали определяется по формуле

$$\Delta P_{\text{нев}} = (\Delta P_{\text{расп}} - \Delta P_{\text{отв}}) / \Delta P_{\text{расп}}$$

и не должна превышать 5...10% (запас, учитывающий дополнительную потерю давления вследствие отступления от проекта при монтаже системы). В этом случае расчетный расход теплоносителя будет обеспечен с ошибкой не более 3,5 %.

Когда невозможно уравнивать потери давления в рассчитываемых магистралях за счет изменения диаметров трубопроводов, избыточное

давление гасится на абонентских вводах диафрагмами или, в крайнем случае, дросселируется. Если на ответвлении от главной магистрали возникает недостаток давления (отрицательное значение) на участке устанавливают подкачивающий насос.

В указанной последовательности рассчитывают и последующие участки трубопроводов и ответвления от главной магистрали. Расчет оформляют в виде таблицы.

По потерям давления вдоль главной магистрали производят выбор насосов. Для перекачивания воды в тепловых сетях предназначены **сетевые насосы типа СЭ**. Подбор насосов осуществляется по производительности и напору с помощью рабочих характеристик.

Напор сетевых насосов, м, следует определять для отопительного и неотапливаемого периодов и принимать равным сумме потерь напора в установках на источнике теплоты, в подающем и обратном трубопроводах от источника теплоты до наиболее удаленного потребителя теплоты и в теплоустановках потребителя (включая потери в тепловых пунктах и насосных) при суммарных расчетных расходах воды:

$$H = \Delta H_{\text{ист}} + \Delta H_{\text{пр}} + \Delta H_{\text{обр}} + \Delta H_{\text{аб}},$$

где $\Delta H_{\text{ист}}$ – потери напора в водонагревательной установке источника теплоты. Зависят от вида применяемого оборудования и длины коммуникаций. Обычно принимаются 20...25 м;

$\Delta H_{\text{пр}}$, $\Delta H_{\text{обр}}$ – потери напора в подающей и обратной магистралях тепловой сети; принимаются по данным гидравлического расчета при суммарном расчетном расходе сетевой воды, который определяет производительность насоса;

$\Delta H_{\text{аб}}$ – располагаемый напор на вводе последнего по ходу воды потребителя. Зависит от вида местной системы и схемы присоединения:

- для *отопительных* схем, присоединяемых по *элеваторной* схеме, необходимый располагаемый напор зависит от коэффициент смещения элеватора и составляет $\Delta H_{\text{аб}} = 15...20$ м;

- при *непосредственном* присоединении *отопительных* систем и калориферных установок *вентиляционных* систем к тепловой сети $\Delta H_{\text{аб}} \geq 5$ м;

- при присоединении отопительных систем через *водоподогреватели* $\Delta H_{\text{аб}} \geq 5...10$ м;

- для водонагревательных установок *систем ГВС при двухступенчатой* схеме требуется напор на пункте $\Delta H_{\text{аб}} = 15...20$ м.

Подачу (производительность) сетевых насосов, кг/ч, принимают:

- для закрытых систем теплоснабжения в *отопительный* период – по суммарному расчетному расходу воды, определяемому по формуле

$$G_d = G_o^{\max} + G_e^{\max} + k_3 G_2^{cp},$$

где G_o^{\max} , G_B^{\max} – максимальный расход воды на отопление и вентиляцию соответственно, кг/ч;

G_r^{cp} – средний расход воды на горячее водоснабжение, кг/ч;

k_3 – коэффициент, учитывающий долю среднего расхода воды на горячее водоснабжение при регулировании по нагрузке отопления, следует принимать по **табл. 2 п. 9.5 ТКП Тепловые сети**. При регулировании по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения коэффициент k_3 принимается равным нулю.

- в *неотопительный* период – по максимальному расходу воды на горячее водоснабжение в неотопительный период по формуле

$$G_d^l = \beta G_z^{\max},$$

где β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотопительный период по отношению к отопительному периоду.

Для *летнего* режима работы, когда система теплоснабжения обслуживает только установки горячего водоснабжения, рекомендуется для закрытых систем подбирать летние сетевые насосы с меньшим напором и производительностью. Параметры работы летних насосов определяются по данным гидравлического, проведенного на расходы теплоносителя только на горячее водоснабжение.

Количество сетевых насосов следует принимать не менее двух, один из которых является резервным. Количество насосов определяют с учетом их совместной работы на тепловую сеть:

- при *последовательном* подключении насосов:

$$H = H_1 + H_2 \text{ при } G = \text{const};$$

- при *параллельном* подключении:

$$G = G_1 + G_2 \text{ при } H = \text{const}.$$

Тема 4.3. Тепловая изоляция теплопроводов

При движении нагретого теплоносителя в трубопроводах происходят потери теплоты за счет разности температур между теплоносителем и окружающей средой. Для уменьшения тепловых потерь на наружных поверхностях трубопроводов, арматуры, фланцевых соединений, компенсаторов и опор, а также на тепло- и хладоиспользующего оборудования устраивается **тепловая изоляция**. Качественная тепловая изоляция обеспечивает:

- уменьшение *потерь тепла* при его транспорте, что снижает установленную мощность источника теплоснабжения и расход топлива;

- уменьшение падения температуры теплоносителя, подаваемого к потребителям, т.е. позволяет сохранить высокие параметры теплоносителя на большом удалении от источника теплоты, что снижает требуемый расход теплоносителя и повышает качество теплоснабжения;

- понижение температуры на поверхности теплопровода (или оборудования) и воздуха в местах обслуживания (камерах, каналах), т.е. обеспечивает допустимую температуру изолируемой поверхности. Это устраняет опасность ожогов и облегчает обслуживание теплопроводов, т.е. улучшает условия труда эксплуатационного персонала;

- кроме того, теплоизоляционные покрытия выполняют иногда роль антикоррозионной защиты наружной поверхности стальных труб и оборудования, что повышает их долговечность (срок службы) и надежность теплоснабжения. Т.е. повышает стойкость металла против коррозии;

- позволяет поддерживать необходимые параметры тепло- и хладоносителя в различных установках (аппаратах);

- повышает производительность тепловых установок, интенсификации технологического процесса.

Тепловая изоляция тепловых сетей применяется **при всех способах прокладки** независимо от температуры теплоносителя.

Теплоизоляционные материалы непосредственно контактируют с внешней средой, температура, влажность и давление которой изменяются в течение времени. Наиболее тяжелые условия для работы теплопроводов возникают при подземной канальной и особенно бесканальной прокладке вследствие увлажнения теплоизоляции грунтовыми и поверхностными водами и наличия в грунте блуждающих токов.

Поэтому выбор теплоизоляционных материалов и конструкций производят с учетом способов прокладки и условий эксплуатации, которые определяются внешней тепловой нагрузкой на теплоизоляцию, уровнем грунтовых вод, температурой теплоносителя, гидравлическим режимом работы тепловой сети и др.

Теплоизоляционные материалы и изделия подразделяют по следующим основным признакам:

- виду основного исходного сырья – неорганические и органические;
- структуре – волокнистые, ячеистые, зернистые (сыпучие);
- форме – рыхлые (вата, перлит и др.), плоские (плиты, маты, войлок и др.); фасонные (цилиндры, полуцилиндры, сегменты и др.); шнуровые;
- возгораемости (горючести) – несгораемые, трудносгораемые, сгораемые;
- содержанию связующего вещества - содержащие связующее вещество и не содержащие связующее вещество.

Технические требования к теплоизоляционным материалам и изделиям: определенное (ограниченное) значение теплопроводности и плотности

(объемной массы); стабильные физико-механические и теплотехнические свойства; количество выделяемых токсических веществ и пыли не должно превышать значение ПДК.

Теплоизоляционные конструкции состоят из следующих основных элементов (рис. 4.5):

- теплоизоляционного слоя;
- покровного слоя, предохраняющего основной от атмосферных осадков, механических повреждений, воздействия агрессивных сред;
- пароизоляционного слоя, защищающего изоляцию от атмосферной влаги;
- крепежных деталей, которыми крепят теплоизоляционный и покровный слои между собой и к изолируемой поверхности, а также обеспечивают жесткость конструкции.

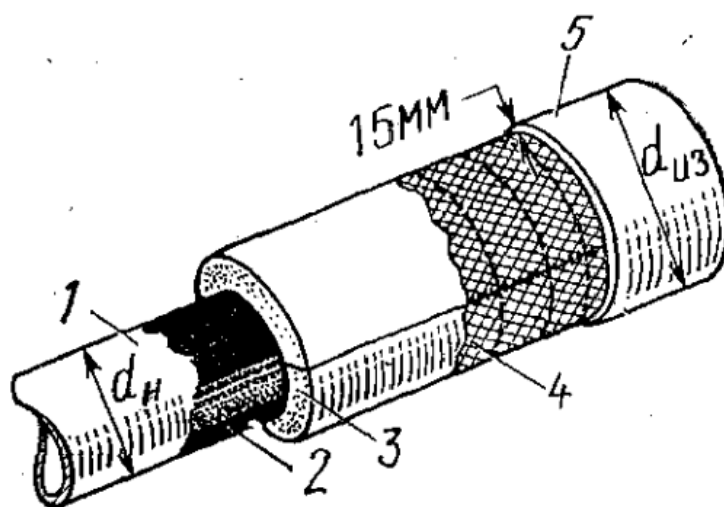


Рисунок 4.5 – Принципиальная схема теплоизоляционной конструкции: 1 – труба; 2 – антикоррозионное покрытие; 3 – мат из минеральной ваты (основной теплоизоляционный слой); 4 – стальная сетка; 5 – асбоцементная штукатурка

В зависимости от назначения конструкции, условий ее работы, материала теплоизоляционного и покровного слоев конструкцию дополняют антикоррозионным или отделочным слоем.

Теплоизоляционный слой, как правило, непосредственно примыкает к изолируемой поверхности и выполняет теплозащитную функцию. В ряде случаев производят антикоррозионную обработку объекта, если выбранный тип изоляции сам не несет функций защиты от коррозии.

В зависимости от материала теплоизоляционного слоя теплоизоляционные конструкции подразделяются на следующие **виды**.

- **Рулонные и шнуровые** конструкции выполняют из волокнистых изделий в обкладках и без обкладок. К таким конструкциям относятся плиты из минеральной ваты на синтетических связующих, маты минераловатные прошивные, маты и плиты из стеклянного штапельного волокна на

синтетическом связующем, шнуры, жгуты, холсты, полосы. Рулонные и шнуровые конструкции удобны для изоляции криволинейных участков трубопроводов, фасонных частей, компенсаторов.

- Конструкции из **штучных изделий** (цилиндров, сегментов, скорлуп, плит, блоков и кирпичей), изготовленных из зернистых, волокнистых и ячеистых материалов, применяют для изоляции холодных и горячих трубопроводов, плоских и криволинейных поверхностей. Изделия устанавливают на мастиках или насухо. Конструкции требуют тщательной подгонки друг к другу в процессе монтажа.

- Конструкции, выполняемые **напылением** теплоизоляционных масс, составляют единое целое с изолируемой поверхностью и отличаются монолитностью, отсутствием швов и тепловых мостиков. Конструкции отличаются простотой производства теплоизоляционных работ. Для изоляции горячих поверхностей используют зернистые (перлит, вермикулит) и волокнистые (асбест, минеральное волокно) материалы. Для изоляции холодных поверхностей используют композиции пенополиуретана.

- **Засыпные (набивные)** конструкции изготовляют из сыпучих волокнистых или порошкообразных материалов.

- **Мастичные** конструкции – из мастик, приготовленных из порошкообразных или волокнистых материалов.

- **Литые** конструкции. В пространство между изолируемой поверхностью и ограждением (опалубкой), например кожухом покрытия, заливают жидкие компоненты, которые затем вспучиваются.

В тепловых сетях как при бесканальной подземной прокладке, так и при надземной прокладке широко используются предварительно изолированные трубопроводы. В практике строительства тепловых сетей применяются трубопроводы с пенополиуретановой теплоизоляцией типа «труба в трубе» (трубы ППУ). Трубопровод состоит из трубы, пенополиуретановой теплоизоляции и защитной оболочки (рис. 3). Применяются стальные или полимерные (для ГВС) трубы. Между трубой и оболочкой устанавливаются центрирующие опоры из полиэтилена.

Самым эффективным материалом, обеспечивающим защиту магистралей от воздействия отрицательных температур и коррозии, считаются **предварительно изолированные (предизолированные) трубы**. Их конструкция представляет собой многослойную структуру, причем каждый слой выполняет свои функциональные задачи (рис. 4.б).

Производство таких труб в заводских условиях дает возможность достигнуть высокого качества изделия, что существенно увеличивает срок эксплуатации любой магистрали. Трубы в пенополиуретановой изоляции (ППУ изоляция) – это конструкция, изготовленная по принципу «труба в трубе», т.е. состоит из двух труб: внутренняя рабочая (несущая) и наружная защитная (оболочка), промежуток между которыми заполнен пенополиуретаном.

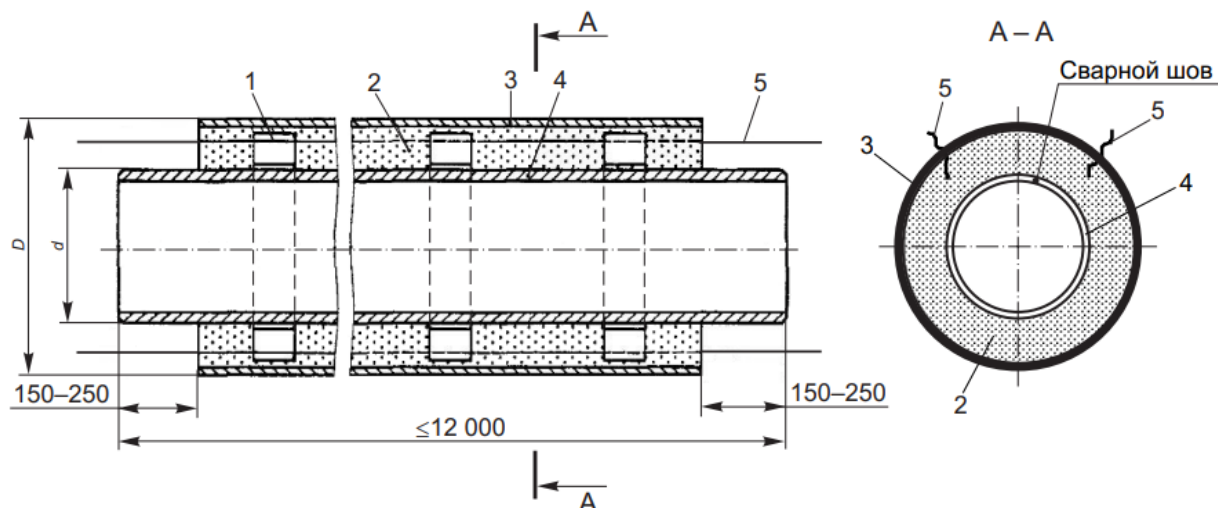


Рисунок 4.6 – Конструкция ПИ-трубы: 1 – центрирующая опора; 2 – пенополиуретановая термоизоляция; 3 – труба-оболочка; 4 – стальная труба; 5 – проводники системы оперативно дистанционного контроля (показаны условно)

В состав изолированной трубы входит три слоя (рис. 4.7):



Рисунок 4.7 – Схема устройства труб ППУ с полиэтиленовой и оцинкованной оболочкой

- **основная (рабочая) стальная труба;**
- **теплоизоляционный материал – ППУ изоляция.** Теплоизоляция обеспечивается напылением пенополиуретана. Этот инновационный материал отличается от традиционных изоляторов (например, стекловаты), низким коэффициентом теплопроводности, гигроскопичностью, долговечностью;
- **оболочка ППУ изоляции.** В качестве таковой применяется полиэтилен низкого давления черного цвета или оцинковка – стальная защитная оболочка

(выполненная из штрипса оцинкованного). Вид оболочки отмечается при маркировке изделия;

- **система ОДК** (оперативного дистанционного контроля). Труба ППУ с ОДК (СОДК) – это труба в пенополиуретановой изоляции, которая оснащена системой оперативного дистанционного контроля.

Установка ОДК дает возможность получать информацию в режиме реального времени о возможных дефектах: повреждение основной трубы; повреждение трубы-оболочки; нарушение работы сигнального провода; неправильно смонтированные стыки ППУ труб (провода плохо соединены между собой). ОДК позволяет мониторить состояние трубопровода на конкретном участке или по всей трубопроводной трассе.

Преимущества труб с ППУ изоляцией:

- пенополиуретановая изоляция труб позволяет существенно уменьшить потери тепла. Максимальная утечка тепла составляет всего 4%, тогда как стальные трубы с традиционной теплоизоляцией имеют теплопотери в пределах 20-25%;

- высокая степень надежности;
- снижение потерь тепла при передаче теплоносителя на 35-40%;
- устойчивость к температурному режиму. Применимы в диапазоне наружных температур от -80 до +130 °С;
- устойчивость к воздействию влаги;
- неподверженность коррозии без дополнительной обработки;
- высокая скорость укладки. Монтаж труб ППУ выполняется надземным, подземным и канальным способом. Возможна подземная бесканальная прокладка на глубину до 1 м. Такой способ укладки предусматривает устройство трубопровода непосредственно в траншее, в применении железобетонных лотков нет необходимости;
- экологическая безопасность;
- существенное снижение затрат на строительство, обслуживание и ремонт теплотрасс;
- возможность контроля состояния системы (благодаря наличию системы оперативного дистанционного контроля);
- антивандальность. Теплоизолятор с труб ППУ практически невозможно украсть и использовать повторно;
- увеличение срока эксплуатации теплотрассы.

Тема 4.4. Тепловой расчет теплопроводов

Задачей теплового расчета является определение:

- толщины основного слоя изоляционной конструкции теплопровода;
- тепловых потерь изолированного теплопровода при заданной изоляционной конструкции;
- падения температуры теплоносителя вдоль теплопровода (по длине);

- температурного поля вокруг теплопровода, т.е. определение температур: на поверхности изоляции, воздуха в канале, стен канала, грунта;
- для паровых сетей – определение количества выпадающего конденсата при транспорте насыщенного пара.

В трубопроводах происходят **потери теплоты** за счет разности температур между теплоносителем и окружающей средой. Тепловой поток направлен от теплоносителя к окружающей среде – наружному воздуху или грунту в зависимости от способа прокладки трубопровода.

Потери теплоты зависят от способа прокладки труб, вида применяемой изоляции, а при подземной прокладке также от влияния соседних теплопроводов.

В трубопроводах тепловых сетей тепловой поток проходит через слои и поверхности **цилиндрической формы**. При этом тепловой поток относят к единице длины теплопровода, т.е. имеют дело с **линейной плотностью теплового потока**, Вт/м: $q = Q/L = \text{const}$.

Для уменьшения потерь теплоты теплопроводами применяют тепловую изоляцию, теплозащитные свойства которой характеризует отнесенное к 1 м длины теплопровода **линейное термическое сопротивление теплопередаче**, $\text{м} \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, которое численно равно температурному напору в 1 градус, необходимому для передачи единичного теплового потока (1 Вт), отнесенному к единице длины (1 м) теплопровода:

$$R = \Delta t/q,$$

где Δt – температурный напор между теплоносителем и окружающей средой, °C ; q – тепловой поток, протекающий через цилиндрическую поверхность теплопровода длиной 1 м, Вт/м.

Термическое сопротивление характеризует способность тела (его поверхности или слоя) препятствовать распространению теплового потока.

Термические сопротивления, $\text{м} \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, теплопроводов относятся либо к термическому сопротивлению **слоя** либо **поверхности** и определяются по формулам

$$R_{\text{слоя}} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{слоя}}} \ln \frac{d_{\text{нар}}^{\text{слоя}}}{d_{\text{вн}}^{\text{слоя}}}; \quad R_{\text{пов}} = \frac{1}{\pi d_{\text{пов}} \alpha_{\text{пов}}}.$$

где $d_{\text{пов}} = d_{\text{тр.нар}} + 2\delta_{\text{из}} + 2\delta_{\text{п.с}}$, d – диаметр, δ – толщина слоя

Полные термические сопротивления теплопровода при различных способах прокладки могут быть определены в общем виде по формулам:

- при **надземном способе** прокладки (рис. 4.8):

$$\sum R^{\text{надз}} = R_{\text{вн}} + R_{\text{тр}} + R_{\text{из}} + R_{\text{н}} = R_{\text{из}} + R_{\text{н}};$$

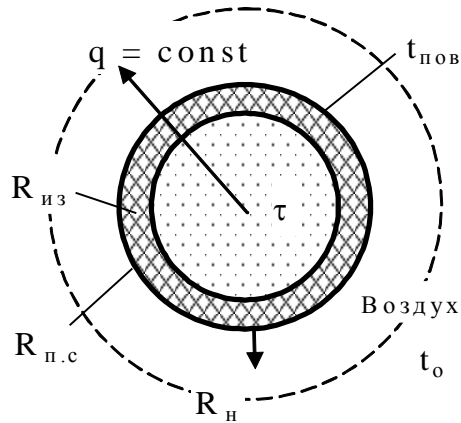


Рисунок 4.8– Наземная прокладка теплопровода:

- при **бесканальном способе** прокладки (рис. 4.9):

$$\sum R^{\text{беск}} = R_{\text{вн}} + R_{\text{тр}} + R_{\text{из}} + R_{\text{гр}} + R_{\text{доп}} = R_{\text{из}} + R_{\text{гр}} + R_{\text{доп}};$$

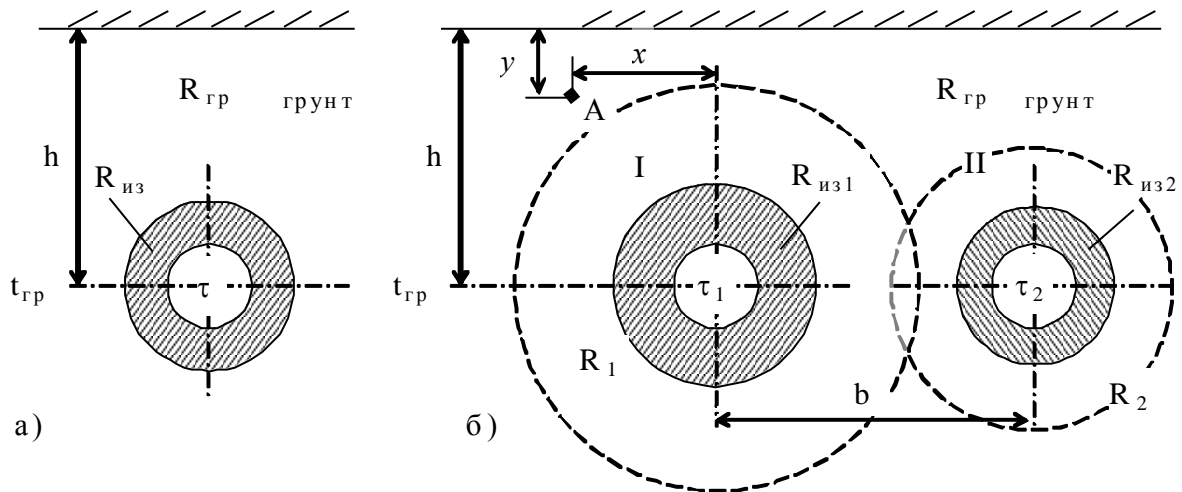


Рисунок 4.9 – Схема бесканального теплопровода: однетрубного и двухтрубного

- при **канальном способе** прокладки (рис. 4.10):

$$\begin{aligned} \sum R^{\text{кан}} &= R_{\text{вн}} + R_{\text{тр}} + R_{\text{из}} + R_{\text{н}} + R_{\text{п.к}} + (R_{\text{к}} + R_{\text{гр}}) + R_{\text{доп}} = \\ &= R_{\text{из}} + R_{\text{н}} + R_{\text{п.к}} + R_{\text{гр}} + R_{\text{доп}}. \end{aligned}$$

К термическому сопротивлению **поверхности** относятся $R_{\text{вн}}$, $R_{\text{н}}$, $R_{\text{п.к}}$, к термическому сопротивлению **слоя** относятся $R_{\text{тр}}$, $R_{\text{из}}$, $R_{\text{к}}$, $R_{\text{гр}}$.

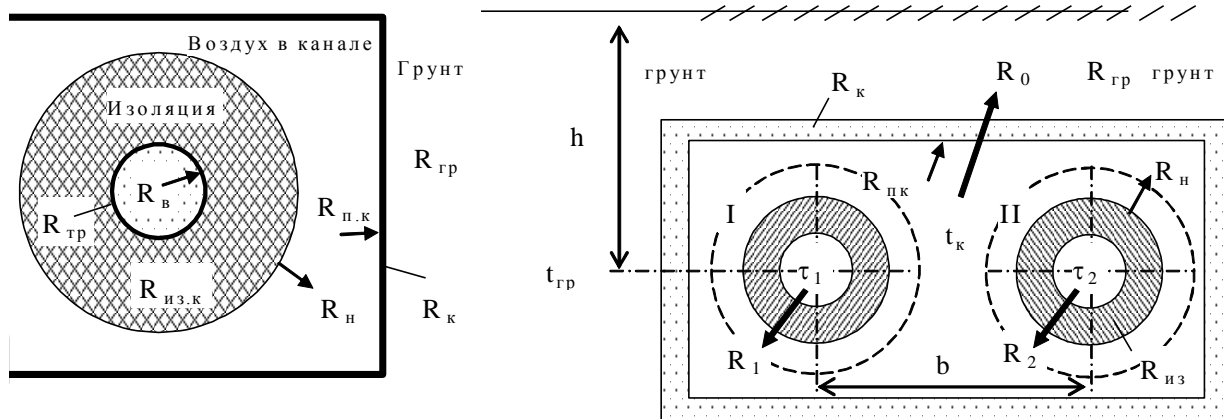


Рисунок 4.10 – Схема канальной прокладки двухтрубного теплопровода и термические сопротивления теплопровода

Термические сопротивления, обозначенные на этих рисунках:

$R_{вн}$ – термическое сопротивление теплоотдаче от теплоносителя к внутренней поверхности трубы. Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к внутренней стенке трубы достаточно велик, поэтому величиной $R_{вн}$ можно пренебречь ($R_{вн} \approx 0$), считая, что температура на внутренней стенке трубы равна температуре теплоносителя;

$R_{тр}$ – термическое сопротивление теплопроводности стенки трубопровода. Коэффициент теплопроводности трубы велик, поэтому незначительным термическим сопротивлением $R_{тр}$ в расчетах обычно пренебрегают ($R_{тр} \approx 0$). При этом принимают температуру на наружной поверхности трубы равной температуре теплоносителя.

$R_{из}$ – термическое сопротивление теплопроводности тепловой изоляции (основного слоя теплоизоляционной конструкции). В состав теплоизоляционной конструкции входит также **покровный слой**: $R_{из.к} = R_{из} + R_{п.с}$. Однако, термическое сопротивление покровного слоя обычно мало ($R_{п.с} \approx 0$), поэтому в практических расчетах им допускается пренебрегать, используя в качестве запаса небольшой теплоизолирующий эффект этого слоя.

$R_{н}$ – термическое сопротивление теплоотдаче от наружной поверхности изоляции в окружающую среду.

$R_{гр}$ – термическое сопротивление теплопроводности грунта;

$R_{доп}$ – дополнительное условное термическое сопротивление, учитывает взаимное влияние теплопроводов при подземной прокладке – при подземной прокладке вокруг теплопроводов образуется температурное поле, которое оказывает влияние на соседний теплопровод.

$R_{п.к}$ – термическое сопротивление теплоотдаче от воздуха в канале к внутренней поверхности стенок канала.

$R_{к}$ – термическое сопротивление теплопроводности стенок канала. Основным конструктивным материалом при сооружении каналов при

подземной прокладке служит сборный железобетон, он достаточно надежен и долговечен при эксплуатации в условиях повышенной температуры и влажности среды. Теплопроводность железобетонных конструкций находится в пределах $\lambda_k = 0,8 \dots 1,5$ Вт/(м·°С), т.е. близка к таковой для грунтов, а толщины этих конструкций невелики по сравнению с глубинами заложения труб. Поэтому общее термическое сопротивление канала и грунта ($R_k + R_{гр}$) можно определять как для грунта.

Полное термическое сопротивление теплопередаче от теплоносителя в окружающую среду и **линейная плотность теплового потока** взаимосвязаны соотношением:

$$\sum R = \frac{\tau_{cp} - t_o}{q},$$

где $\sum R$ – полное термическое сопротивление изоляционной конструкции, м·°С/Вт;

τ_{cp} – расчетная температура теплоносителя, °С;

t_o – расчетная температура окружающей среды, °С;;

q – линейная плотность теплового потока с 1 м длины теплоизоляционной конструкции, Вт/м.

При расчете тепловых потерь и определении эффективности двухтрубным теплопроводом, проложенным бесканально под землей, учитывают **общие тепловые потери**, Вт/м, равные сумме тепловых потерь первым и вторым теплопроводами: $q = q_1 + q_2$.

Методика теплового расчета теплопроводов водяных сетей при различных способах их прокладки, а также расчетные формулы подробно приведены в **ТКП 45-4.02-129-2009**.

Суть методики теплового расчета сводится к следующему. При заданной теплоизоляционной конструкции, т.е. при известном теплоизоляционном материале, необходимо определить **толщину основного слоя** тепловой изоляции с учетом ее промышленного изготовления. При этом полученный удельный тепловой поток с изолированной поверхности трубопровода должен не превышать **нормированную величину** – норму линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность, Вт/м:

$$q \leq q_{норм}$$

Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность при различных способах прокладки и года строительства тепловых сетей приведены **ТКП 642-2019** с учетом их износа, срока и условий эксплуатации.

Для оценки эффективности изоляционной конструкции пользуются **коэффициентом эффективности** теплоизоляции:

$$\eta_{и} = \frac{q_{неиз} - q_{и}}{q_{неиз}} = 1 - \frac{q_{и}}{q_{неиз}},$$

где $q_{из}$, $q_{неиз}$ – удельные теплотери соответственно от изолированного и неизолированного теплопровода, Вт/м.

Обычно коэффициент эффективности изоляционных конструкций теплопроводов $\eta_{и} = 0,85 \div 0,95$.

Обеспечить **рациональную конструкцию** изоляции можно двумя путями: применением различных изоляционных материалов с одинаковой толщиной слоя, обеспечивающей требуемый теплоизолирующий эффект; применением конкретного изоляционного материала путем изменения только толщины слоя.

Теплоизоляционная конструкция должна отвечать **техническим требованиям**:

- не превышение нормированных тепловых потерь;
- обеспечение допустимой температуры на поверхности изоляции;
- обеспечение заданной температуры теплоносителя в отдельных точках тепловой сети.

Тепловые потери, Вт, по длине участка тепловой сети:

$$Q_{ном} = q \cdot \beta \cdot L,$$

где L – длина трубопровода, м;

β – коэффициент местных тепловых потерь участка тепловой сети, выбирается в зависимости от способа прокладки теплопроводов.

В процессе движения по теплопроводу происходит **падение температуры теплоносителя** вдоль теплопровода, вследствие этого удельные теплотери q , Вт/м, по длине изменяются.

При транспорте капельной жидкости (горячая вода, нефть и т.п.) и на коротких участках теплопроводов, когда ожидаемое падение температуры невелико (не более 3...5% начальной температуры), расчет можно проводить из предположения **постоянства удельных теплотерей**. В этом случае уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q = G c (\tau_{нач} - \tau_{кон}) = q L K,$$

где G – расход теплоносителя на участке, кг/с;

c – теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·°С);

$\tau_{нач}$, $\tau_{кон}$ – температура теплоносителя в начале и конце участка, °С;

L – длина участка, м;

q – удельные линейные теплотери, Вт/м;

K – коэффициент, учитывающий местные потери теплоты.

Тогда падение температуры теплоносителя составит:

$$\Delta\tau = \tau_{\text{нач}} - \tau_{\text{кон}} = q L K / (G \cdot c),$$

а температура теплоносителя в конце участка:

$$\tau_{\text{кон}} = \tau_{\text{нач}} - q L K / (G \cdot c).$$

Если удельные теплотери q , Вт/м, изменяются по длине, в формулу для определения $\tau_{\text{кон}}$ приходится подставлять значение q , соответствующее известной начальной температуре теплоносителя $\tau_{\text{нач}}$.

Температуру на поверхности теплоизоляции можно определить из уравнения теплового баланса для стационарного режима:

$$\frac{\tau - t_{\text{нов}}}{R} = \frac{t_{\text{нов}} - t_o}{R_n},$$

где $R = R_{\text{из}} + R_{\text{н.с}}$, тогда температура на поверхности

$$t_{\text{нов}} = \frac{\tau R_n + t_o R}{R_n + R}.$$

Температуру на поверхности тепловой изоляции, °С, следует принимать не более:

- для изолируемых поверхностей, расположенных в рабочей или обслуживаемой зоне помещений и содержащих вещества:

температурой выше 100 °С – 45;

“ 100 °С и ниже – 35;

- для изолируемых поверхностей, расположенных на открытом воздухе в рабочей или обслуживаемой зоне – 45 °С вне зависимости от вида покровного слоя.

Температура на поверхности тепловой изоляции трубопроводов, расположенных за пределами рабочей или обслуживаемой зоны, не должна превышать температурных пределов применения материалов покровного слоя и в любом случае должна быть не выше 75 °С.

Раздел V. Производство тепловой энергии

Производство тепловой энергии – производство теплоносителя заданных параметров в промышленных условиях и непрерывного отпуска потребителю. Существуют **методы производства** тепловой энергии:

- метод сжигания органического и ядерного топлива;
- метод преобразования возобновляемых источников энергии в тепловую в специальных устройствах;
- метод преобразования тепловой энергии теплоносителя с низким энергетическим потенциалом в высокопотенциальную тепловую энергию другого теплоносителя.

Тепловая энергия в Республике Беларусь в основном производится за счет сжигания органического топлива на тепловых электростанциях. Лишь незначительная доля тепловой энергии вырабатывается за счет использования низкопотенциальных источников, преобразования солнечного излучения, сжигания твердых бытовых отходов, использования биотоплива.

Тема 5.1. Производство тепловой энергии из органического топлива

В традиционной энергетике в качестве первичной энергии используется **органическое** или **ядерное топливо**, применение которого позволяет получить теплоту. Теплота может использоваться непосредственно или преобразовываться в другие виды энергии: механическую, электрическую.

Для получения теплоты из органического топлива применяются топочные устройства, а из ядерного топлива – ядерные реакторы, которые соответственно входят в состав котельных установок и промышленных печей, а также **ядерных энергетических установок**.

Комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для производства или преобразования, передачи, накопления, распределения или потребления тепловой энергии называется **теплоэнергетической установкой**.

Известны две основные **схемы получения тепловой энергии из органического топлива** путем его сжигания:

- схема производства **только** тепловой энергии – в котельной установке;
- схема **совместного** производства тепловой и электрической энергии – на ТЭЦ.

Рассмотрим **схему производства только тепловой энергии** с теплоносителем в виде водяного пара (рис. 5.1). Основой установки является **котел**, в котором сжигается топливо и от высокотемпературных продуктов сгорания теплота передается воде, циркулирующей по трубам в теплообменной части котла. Основная конечная задача процессов в котле –

превращение воды в водяной пар (паровой котел) или подогрев воды до заданной температуры (водогрейный котел).

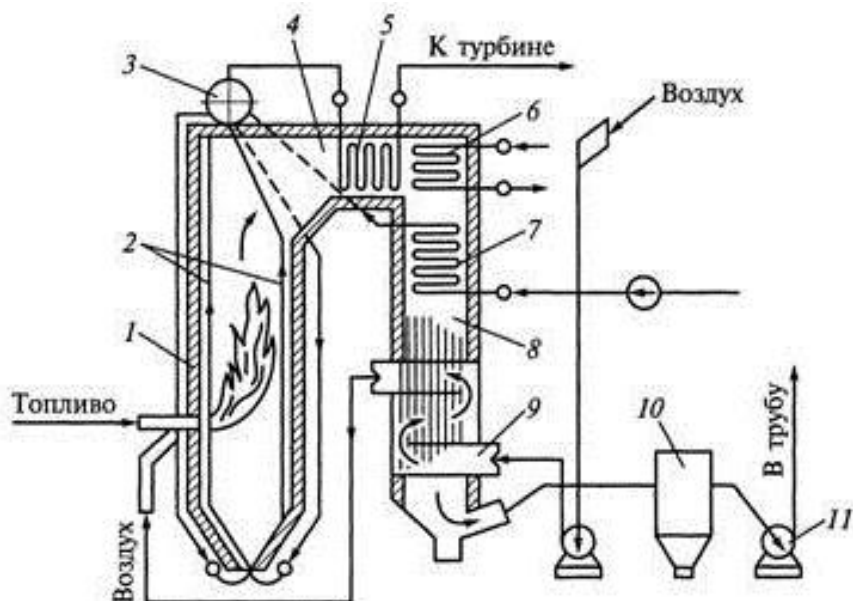


Рисунок 5.1 – Схема котельной установки с естественной циркуляцией: 1 – топочная камера; 2 – трубные экраны; 3 – барабан; 4 – поворотная камера; 5 – пароперегреватель; 6 – промежуточный пароперегреватель; 7 – водяной экономайзер; 8 – конвективная шахта; 9 – воздухоподогреватель; 10 – золоуловитель; 11 – дымосос

Топливо вместе с необходимым для его горения воздухом поступает в топочную камеру 1. Продукты его сгорания отдают часть своей теплоты трубным экранам 2, закрывающим топочную камеру. Частично охлажденные газы поступают в поворотную камеру 4, где обычно располагается пароперегреватель 5. Затем они направляются в конвективную шахту 8, где расположены промежуточный пароперегреватель 6, водяной экономайзер 7 и воздухоподогреватель 9. Пройдя последнюю поверхность нагрева, газы охлаждаются до температуры 120 °С, и поступают в золоуловитель 10, а из него в дымосос 11, который обеспечивает движение газов по всему рассматриваемому тракту за счет разрежения. Из дымососа газы идут в дымососную трубу.

Пароводяной тракт начинается от экономайзера 7, в который под давлением поступает питательная вода. Из экономайзера она направляется в барабан 3 (в количестве, равном паропроизводительности котла). Из барабана вода по опускным трубам поступает в коллектор, из которого распределяется по испарительным трубам. Из них пароводяная смесь поступает в барабан, где сепарируется. Отделившаяся вода вновь направляется в опускные трубы, пар идет в пароперегреватель 5, а затем в паровую турбину. Из части высокого давления турбины пар подается в промежуточный пароперегреватель 6 и после дополнительного перегрева направляется в часть среднего давления.

Рассмотренная схема котла соответствуют П-образной компоновке. Кроме П-образной (основной) имеются Т-образные и Г-образные компоновки.

Источником энергии для котельных установок различного назначения на промышленных предприятиях являются природные и искусственные топлива, в твердом, жидком и газообразном состояниях, теплота отходящих газов теплотехнологических установок, теплота экзотермических превращений, выделяющаяся в отдельных технологических процессах, теплота охлаждаемых элементов высокотемпературных технологических рабочих камер, теплота охлаждаемого технологического продукта и т.п. Находят некоторое применение и нетрадиционные возобновляемые источники энергии, в частности солнечная энергия, геотермальная энергия и др. Широкое применение для получения пара и горячей воды в последние годы находит теплота, выделяющаяся при реакциях распада атомных ядер тяжелых элементов (уран, плутоний).

Схема комбинированного производства тепловой и электрической энергии применяется в мощных теплоэлектростанциях (ТЭЦ) для централизованного обеспечения этими видами энергии крупных жилых и промышленных районов. Применение этой схемы позволяет существенно повысить эффективность использования химической энергии топлива при производстве электроэнергии за счет более полного использования тепловой энергии отработанного пара паротурбинной установки ТЭЦ (рис. 5.2).

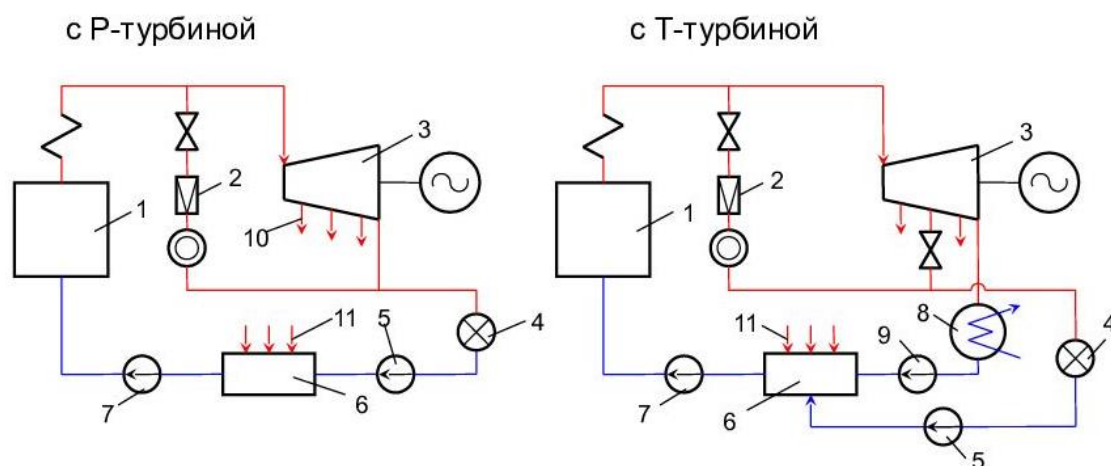


Рисунок 5.2– Принципиальная схема ТЭЦ: 1 – паровой котел; 2 – РОУ; 3 – турбогенератор; 4 – тепловой потребитель; 5 – конденсатный насос; 6 – регенеративные подогреватели; 7 – питательный насос; 8 – конденсатор; 9 – конденсатный насос; 10, 11 – пар из отборов турбины

Органическое топливо сжигается в паровом котле, в результате чего образуется водяной пар, который перегревается в пароперегревателе до температуры 520-540°C и направляется в паровую турбину, в которой энергия пара сначала преобразуется в механическую энергию вращения

турбины, а затем в электрогенераторе – в электрическую энергию. Паровая турбина многоступенчатая. Водяной пар, выработанный в котле, не полностью направляется в турбину; часть его поступает в редуционно-охлаждающую установку (РОУ), где понижаются его давление и температура до заданного уровня и далее пар направляется потребителю тепловой энергии в системы теплоснабжения.

Введенный в паровую турбину пар частично отбирается из определенных ступеней турбины, а затем направляется потребителю 4 и частично на регенеративный подогрев конденсата перед вводом его в котел. Отработанный водяной пар затем направляется в конденсатор 8 и далее с помощью конденсатного насоса 5 поступает в регенеративный подогреватель 6 конденсата, куда направляется также и конденсат отработанного пара от потребителя 4.

Таким образом, на выработку электроэнергии направляется только часть пара, обычно 20-40 %, а основная его доля направляется в систему теплоснабжения. При этом паровые турбины с регенеративным отбором пара работают с более высоким термическим КПД. Схема комбинированного производства тепловой и электрической энергии позволяет повысить эффективность использования химической энергии органического топлива до 70-80 % по сравнению с конденсационными тепловыми электростанциями, имеющими КПД 35-40 %.

Тема 5.2. Производство тепловой энергии из ядерного горючего

Ядерная энергия выделяется, во-первых, при радиоактивном распаде и делении атомного ядра, а во-вторых, с процессе синтеза – слияния легких ядер в более тяжелые. Эти процессы всегда сопровождаются выделением большого количества тепловой энергии. Первый принцип используется в работе атомных станций.

Ядерное топливо сжигается в **ядерных реакторах** атомных электростанций и теплоэлектроцентралях (рис. 5.3).

При бомбардировке ^{235}U тепловыми нейтронами ядро атома захватывает и поглощает нейтроны, а затем распадается на два осколка. При каждом акте деления в среднем выделяются два-три быстрых нейтрона и энергия 200 МэВ в виде теплоты. Для сравнения: в типичной химической реакции ее выделяется менее 10 эВ на атом ($1 \text{ эВ} \cong 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$). Теплота передается теплоносителю в зависимости от конструкции ядерного реактора: воде, водяному пару, газу или жидкому металлу. Для возникновения и поддержания цепного деления необходима загрузка в активную зону ядерного топлива в количестве, равном критической массе. Она зависит от энергии нейтронов, геометрической формы урана, концентрации изотопа ^{235}U и наличия отражателей. Замедлитель случит для уменьшения энергии быстрых нейтронов до тепловых ($\cong 0,025 \text{ эВ}$). Система управления и защиты

служит для управления реактором путем изменения площади поглощающих регулирующих стержней для захвата нейтронов. Биологическая защита обеспечивает безопасность персонала и окружающей среды.

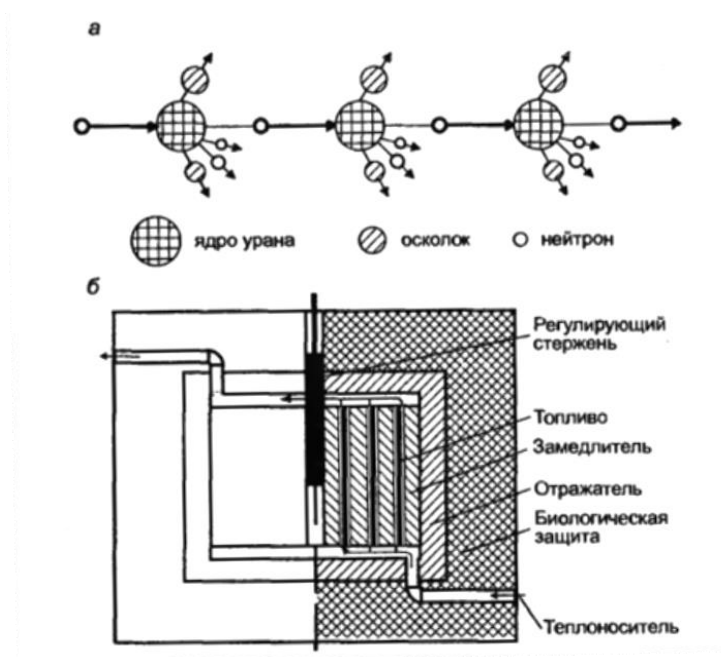


Рисунок 5.3 – Схема управляемой ядерной реакции (а) и канального ядерного реактора на тепловых нейтронах (б)

Схема получения теплоты и электроэнергии на **атомных электрических станциях (АЭС)** и **теплоэлектростанциях (ТЭЦ)** отличается лишь способом генерирования теплоты, которая высвобождается в ядерном реакторе, а затем передается рабочему веществу паротурбинной установки. В зависимости от теплоносителя, используемого в реакторе, конструкции ядерных установок могут быть одно-, двух- или трехконтурными (рис. 5.4).

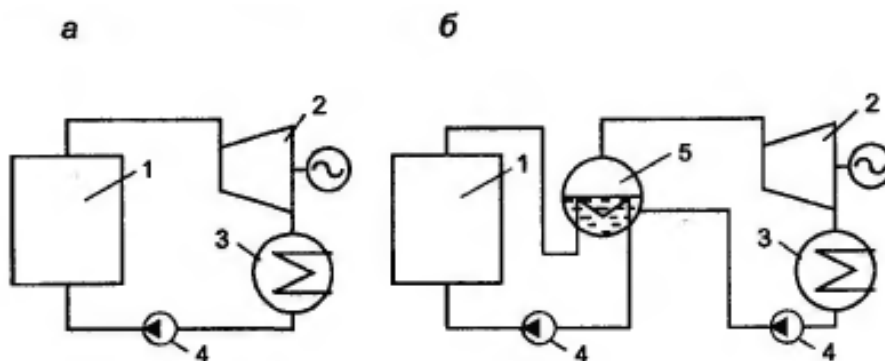


Рисунок 5.4 – Принципиальная схема одноконтурной (а) и двухконтурной (б) АЭС:
 1 – реактор; 2 – турбогенератор; 3 – конденсатор; 4 – циркуляционный насос;
 5 – парогенератор

Одноконтурные схемы ядерных энергоустановок применяются на АЭС с газовыми и водяными реакторами, двухконтурные – в АЭС с водо-водяными реакторами, а трехконтурные – в АЭС с жидкометаллическим теплоносителем. Дополнительные контуры ядерных энергетических установок требуются для предотвращения выноса радионуклидов в последний контур с тепловым оборудованием. Они обеспечивают безопасную работу АЭС.

Благодаря комплексному анализу всех факторов, негативно влияющих на состояние окружающей среды, ученые выявили две главные проблемы ядерной энергетики: неправильное обращение с производственными отходами последствия техногенных аварий, при которых происходит активный выброс радиоактивных веществ

Тема 5.3. Производство тепловой энергии за счет ВИЭ

Характерной особенностью **возобновляемых источников энергии (ВИЭ)** является то, что потоки энергии могут быть использованы лишь **частично** и от большинства возобновляемых источников – **периодически**. Это не всегда согласуется с реальными потребностями в энергии. Максимум поступления энергии приходится на летние месяцы и дневное время. Энергетика на возобновляемых источниках энергии должна ориентироваться только на существующие ресурсы данного региона.

Характерным отличием **систем солнечного теплоснабжения** является применение специального элемента – **гелиоприемника**, предназначенного для улавливания солнечной радиации и преобразования ее в тепловую энергию.

В системах ГВС и отопления используются плоские солнечные коллекторы. **Солнечный коллектор** представляет собой теплообменный аппарат с каналами, через которые проходит теплоноситель. Часть солнечной радиации поглощается поверхностью теплообмена и передается теплоносителю.

Солнечная водонагревательная установка СВУ (рис. 5.5) состоит из солнечного коллектора и теплообменника-аккумулятора.

Через солнечный коллектор циркулирует теплоноситель (антифриз). Теплоноситель нагревается в солнечном коллекторе энергией Солнца и отдает затем тепловую энергию воде через теплообменник, вмонтированный в бак-аккумулятор. В баке-аккумуляторе хранится горячая вода до момента ее использования, поэтому он должен иметь хорошую теплоизоляцию.

В первом контуре, где расположен солнечный коллектор, может использоваться естественная или принудительная циркуляция теплоносителя. В бак-аккумулятор может устанавливаться электрический или какой-либо другой автоматический нагреватель-дублер. В случае понижения температуры

в баке-аккумуляторе ниже установленной (продолжительная пасмурная погода или малое количество часов солнечного сияния зимой) нагреватель-дублер автоматически включается и догревает воду до заданной температуры.

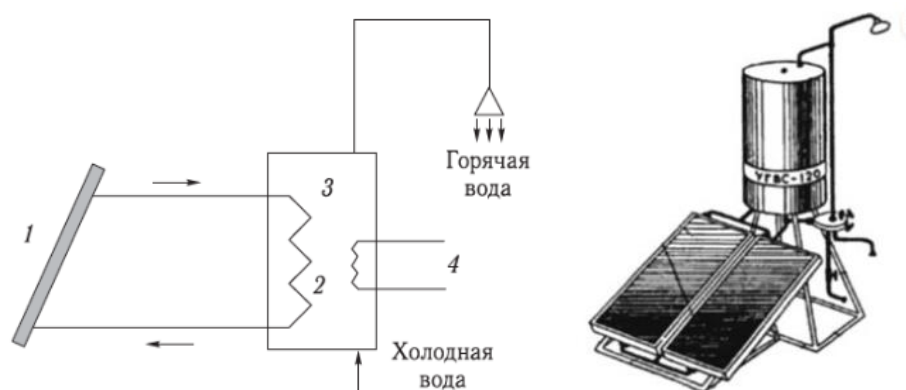


Рисунок 5.5 – Схема солнечной водонагревательной установки: 1 – солнечный коллектор; 2 – теплообменник; 3 – бак-аккумулятор; 4 – электронагреватель

Сезонные гелиосистемы горячего водоснабжения обычно одноконтурные и функционируют в летние и переходные месяцы, в периоды с положительной температурой наружного воздуха. Они могут иметь дополнительный источник теплоты или обходиться без него в зависимости от назначения обслуживаемого объекта и условий эксплуатации.

Гелиосистемы отопления зданий обычно двухконтурные или чаще всего многоконтурные, причем для разных контуров могут быть применены различные теплоносители (например, в гелиоконтуре – водные растворы незамерзающих жидкостей, в промежуточных контурах – вода, а в контуре потребителя – воздух). Комбинированные гелиосистемы круглогодичного действия для целей теплоснабжения зданий многоконтурные и включают дополнительный источник теплоты в виде традиционного теплогенератора, работающего на органическом топливе, или трансформатора теплоты. Принципиальная схема системы солнечного теплоснабжения приведена на рис. 5.6.

Теплоноситель (антифриз) теплоприемного контура, нагреваясь в солнечных коллекторах 1, поступает в теплообменник 3, где теплота антифриза передается воде, циркулирующей в межтрубном пространстве теплообменника 3 под действием насоса 8 второго контура. Нагретая вода поступает в бак-аккумулятор 2. Из бака-аккумулятора вода забирается насосом горячего водоснабжения 8, доводится при необходимости до требуемой температуры в дублере 7 и поступает в систему ГВС здания. Подпитка бака аккумулятора осуществляется из водопровода. Для отопления вода из бака-аккумулятора 2 подается насосом третьего контура 8 в калорифер 5, через который с помощью вентилятора 9 пропускается воздух и, нагревшись, поступает в здание 4. В случае отсутствия солнечной

радиации или нехватки тепловой энергии, вырабатываемой солнечными коллекторами, в работу включается дублер 6. Выбор и компоновка элементов системы солнечного теплоснабжения в каждом конкретном случае определяются климатическими факторами, назначением объекта, режимом теплотребления, экономическими показателями.

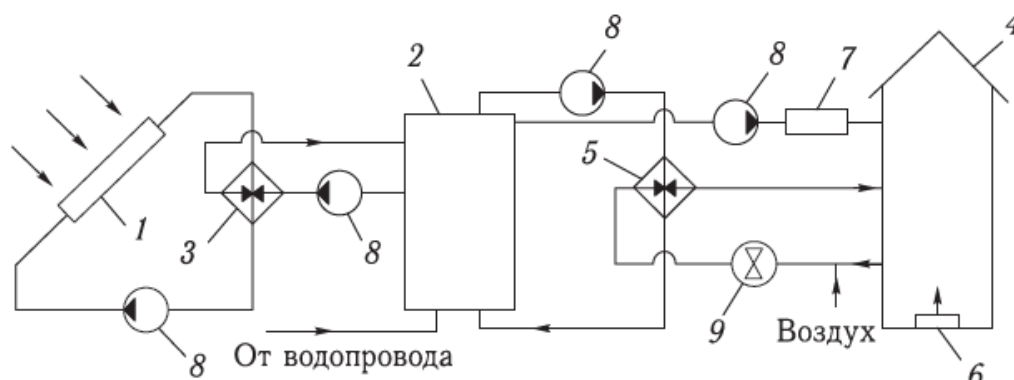


Рисунок 5.6– Принципиальная схема системы солнечного теплоснабжения:
 1 – солнечный коллектор; 2 – бак-аккумулятор; 3 – теплообменник; 4 – здание;
 5 – калорифер; 6 – дублер системы отопления; 7 – дублер системы ГВС;
 8 – циркуляционный насос; 9 – вентилятор

Если в гелиоприемнике необходимо получить температуру теплоносителя выше $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, то для концентрации солнечной энергии на его приемной поверхности используют систему **гелиостатов** – параболических зеркал, имеющих механизм автоматического поворота для непрерывного отражения солнечной энергии на поверхность гелиоприемника. В этом случае обычно гелиоприемник располагают на башне высотой до 100 м, а гелиостаты – вокруг нее (рис. 5.7).

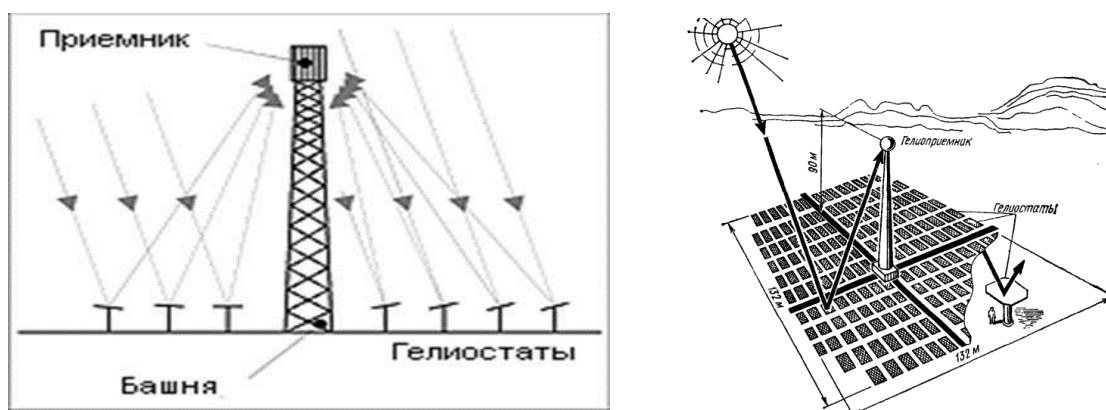


Рисунок 5.7 – Принципиальная схема концентрации солнечного излучения в гелиоприемнике системы получения высокопотенциальной тепловой энергии

Установки, использующие **энергию геотермальных вод** для производства тепловой энергии, более компактны, чем гелиоустановки. При

температурах геотермальных вод до 100-150 °С и слабой их минерализации возможно прямое использование геотермальных вод в системе теплоснабжения. При более высоких температурах и давлениях применяется двухконтурная схема (рис. 5.8, а), в которой геотермальная вода или пар при температуре до 200 °С подается в сетевой теплообменник 2, где охлаждается и затем сбрасывается, как правило, в подземные естественные пустоты – хранилища или в водоносный горизонт.

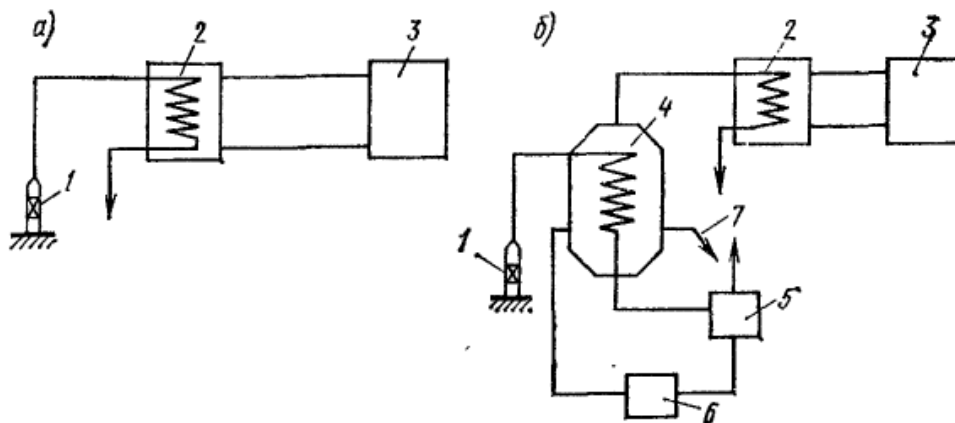


Рисунок 5.8 – Принципиальные схемы использования термальных вод: а – двухконтурная схема; б – схема с промежуточной очисткой геотермальных вод; 1 – источник геотермальной энергии (воды или пара); 2 – сетевой теплообменник; 3 – потребитель теплоты; 4 – парогенератор; 5 – сепаратор; 6 – насос; 7 – сброс воды из парогенератора

В случае очень большой минерализации геотермальной воды и насыщения ее другими вредными веществами используется схема с промежуточной очисткой пара (рис. 5.8, б). В этой схеме водяной пар или горячая вода под давлением из скважины 1 направляются в теплообменник парогенератора 4, где конденсируются; образовавшаяся вода поступает в сепаратор 5, где из нее выделяются вредные соединения; далее очищенная вода насосом 6 вводится в испарительную зону парогенератора 4, где испаряется. Образовавшийся в результате испарения воды пар с температурой 120-150 °С направляется в сетевой теплообменник 2, где передает теплоту сетевой воде, направляемой к потребителю. Возможны также схемы, использующие термальную энергию Земли в результате нагрева воды или воздуха, закачиваемых в ее недра, до высокой температуры с последующим их извлечением для использования.

Тема 5.4. Производство тепловой энергии из отходов

По месту возникновения отходы подразделяются на бытовые, промышленные и сельскохозяйственные. По составу основным показателем

можно считать происхождение отходов – органическое и неорганическое, а также сжигаемы отходы или нет.

Сельскохозяйственные отходы, животноводческие и растительные (навоз, солома, отходы сахарного тростника) являются хорошим сырьем для производства искусственного газообразного и жидкого топлива. При этом основным процессом превращения органических отходов в горючий газ и в метиловый и этиловый спирты является сбраживание в **метантенке**.

Биогазовая установка – устройство, осуществляющее переработку органических отходов в биогаз и органические удобрения (рис. 5.9).

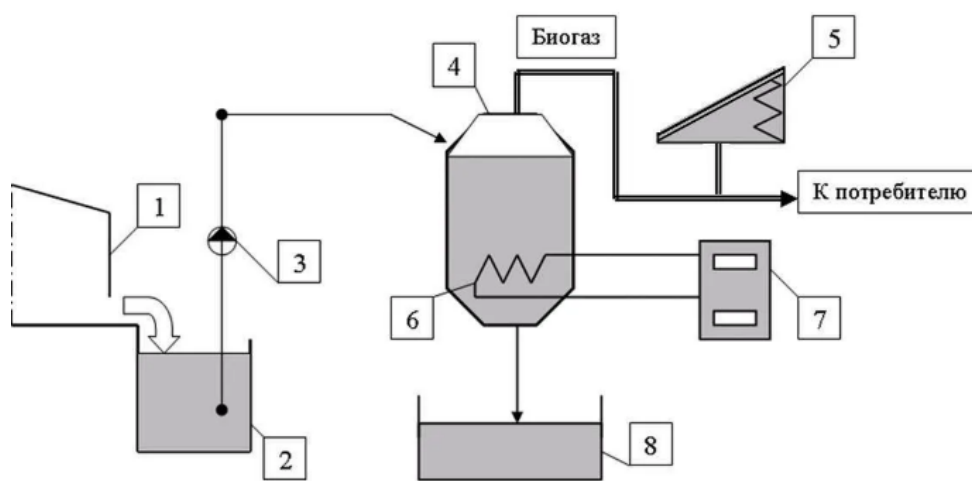


Рисунок 5.9 – Технологическая схема биогазовой установки: 1 – поступление сырья; 2 – приемник сырья; 3 – насос; 4 – метантенк; 5 – газгольдер; 6 – теплообменник; 7 – котел; 8 – бункер-отстойник

Сырье смешивается и измельчается до получения полужидкой гомогенной массы в приемной емкости 2. Далее масса нагревается до 70 °С с целью уничтожения бактерий. После охлаждения сырье перекачивается с помощью насоса 3 в биореактор – метантенк 4, где подвергается анаэробному брожению при температуре 38 °С. Биогаз через газовый штуцер и конденсатор (для удаления влаги) идет в **газгольдер 5** (емкость для хранения газа), откуда подается либо для сжигания в отопительных приборах, либо для производства электрической и тепловой энергии в когенерационной энергоустановке.

Полностью автономный, энергонезависимый биореактор 10-25 % вырабатываемого газа потребляет для своих нужд (осуществления термостатирования и перемешивания). Твердый остаток накапливается в бункере-отстойнике 8 и является хорошим обеззараженным удобрением. При оптимальном режиме сбраживания этот остаток не превышает 30 % от массы исходного сырья.

По мере концентрации населения в городах и крупных поселках все большее значение приобретает использование **городских отходов** для производства тепловой энергии. Основным направлением такого

использования является организация сжигания отходов в специальных **мусоросжигательных установках**, а также в топках котлов тепловых электростанций в качестве присадки (до 10 %) к основному топливу.

Схема энергетического использования городских бытовых отходов на мусоросжигательном заводе или установке (рис. 5.10), как правило, включает: отделение приемки и складирования отходов, систему подачи отходов в загрузочную воронку, сжигание отходов в топке котла с наклонной колосниковой решеткой. Продукты сгорания, выводимые из котла, подвергаются тщательной очистке в фильтрах, а затем выбрасываются в дымовую трубу. Котел может быть паровым и водогрейным. Зола и шлак, образующиеся после сгорания отходов, удаляются через систему шлакоудаления на склад шлака, откуда вывозятся за пределы завода.

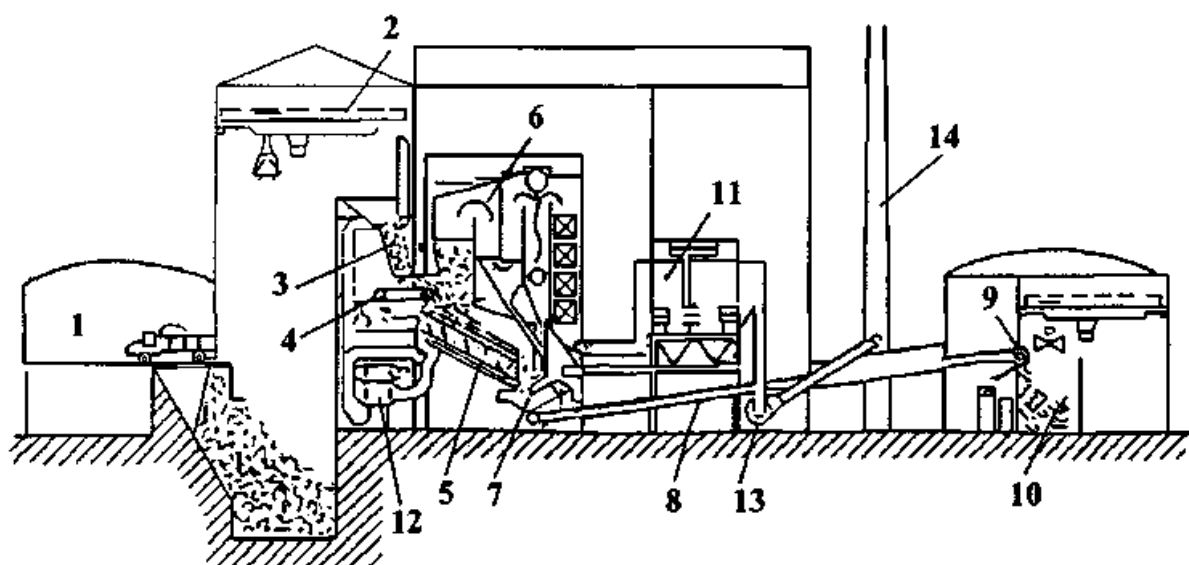


Рисунок 5.10 – Технологическая схема мусоросжигательного завода: 1 – приемное отделение с бункером для приема ТБО; 2 – мостовой кран с грейфером; 3 – приемный бункер котлоагрегата; 4 – питатель топки; 5 – колосниковая решетка мусоросжигательного агрегата с топочным устройством; 6 – котел-утилизатор пара; 7 – гасильная ванна со скребковым устройством для удаления шлака; 8 – шлаковый конвейер; 9 – электромагнитный сепаратор для извлечения черных металлов; 10 – заводская система временного складирования и удаления шлака; 11 – система фильтров и циклонов для очистки газов; 12 – тягодутьевое устройство с вентиляторами для подачи воздуха; 13 – дымососы; 14 – дымовая труба

Приведенными схемами не ограничиваются способы производства тепловой энергии из отходов.

Раздел VI. Источники теплоснабжения

Тема 6.1. Источники теплоты систем централизованного теплоснабжения

Источник тепловой энергии (теплоты) – теплогенерирующая энергоустановка или их совокупность, в которой производится нагрев теплоносителя за счет передачи теплоты сжигаемого топлива, а также путем электронагрева или другими, в том числе нетрадиционными способами, участвующая в теплоснабжении потребителей.

В качестве источников теплоты в системах централизованного теплоснабжения могут быть использованы:

- котельные установки большой мощности (вырабатывают только тепловую энергию);
- ТЭЦ (теплоэлектроцентрали, обеспечивающие комбинированную выработку тепловой и электрической энергии);
- устройства, предназначенные для утилизации промышленных тепловых отходов;
- установки для использования тепла геотермальных источников.

В системах местного теплоснабжения теплотребляющие установки непосредственно соединены с источником тепла (тепловые сети отсутствуют); источниками тепла являются печи, водонагреватели (включая солнечные), водогрейные котлы и т.п. Преимущества централизованного теплоснабжения по сравнению с местным:

- существенно сниженный расход топлива;
- минимальные эксплуатационные затраты;
- возможность использования низкосортного топлива;
- улучшение санитарного состояния населенных мест;
- уменьшение степени загрязнения воздушного бассейна.

Котельная – здание или помещение, в котором расположен комплекс устройств для выработки пара или горячей воды.

Котельные используются при централизованном тепло- и пароснабжении или при местном снабжении, если эта котельная локального значения (в пределах частного дома, квартала). Котельные соединяются с потребителями при помощи теплотрассы и/или паропроводов.

Основным устройством котельной является **паровой и/или водогрейный котлы**, в которых получают соответственно **пар или горячую воду**, используя теплоту сжигаемого топлива.

Водяной пар используется в паровых двигателях, паросиловых установках тепловых электростанций, в технологических установках предприятий, в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения

производственных, общественных и жилых зданий. **Горячая вода** – в основном в системах отопления и вентиляции зданий, а также для удовлетворения сантехнических нужд производства и населения. Иногда – для теплоснабжения технологических потребителей. Во многих случаях пар или горячая вода, вырабатываемые в котлах, используются в качестве теплоносителей для снабжения теплотой тепловых пунктов, называемых центральными (ЦТП), в которых установлены теплообменные аппараты (рекуперативные или смесительные) для нагрева воды, циркулирующей между ЦТП и присоединенными к ним потребителями (двухконтурные схемы). Возможно также подключение потребителей к ЦТП через дополнительные тепловые пункты (бойлерные) для снабжения теплотой отдельных или групп потребителей (трехконтурные схемы).

В зависимости от назначения **котельные подразделяются** на энергетические, производственные, производственно-отопительные, котельные коммунально-бытового сектора (КБС) или жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Последние покрывают потребность ЖКХ в теплоте в основном на цели отопления и горячего водоснабжения. **Энергетические котельные** предназначены для снабжения паром турбоэлектрогенераторов тепловых электростанций (ТЭС), паровых двигателей. Энергетическая котельная является составной частью ТЭС. **Производственные котельные** обеспечивают паром и горячей водой технологических потребителей и системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и горячего водоснабжения.

В промышленности крупными технологическими потребителями пара являются выпарные, перегонные, ректификационные, сушильные установки, химические реакторы, моечные машины, прессы, обогреваемые ванны гальванических линий, машины для ламинирования (покрытия полимерными пленками) бумаги и др.

Производственно-отопительные котельные предназначены для выработки пара или горячей воды, используемых как на производстве, так и для отопления производственных, административно-бытовых и прочих зданий на территории предприятия, а также отопления и снабжения горячей водой близлежащих жилых кварталов.

В производственных и производственно-отопительных котельных устанавливаются чаще паровые котлы. В **отопительных котельных** получают главным образом горячую воду, предназначенную для отопления зданий и удовлетворения коммунально-бытовых нужд населения. Поэтому в отопительных котельных применяют как паровые, так и водогрейные котлы. На современных станциях теплоснабжения ЖКХ – в основном водогрейные котлы. А имеющиеся там паровые котлы – для покрытия собственных нужд станции, в основном – для снабжения паром мазутного хозяйства (в газовых котельных мазут используется в качестве резервного или аварийного топлива).

Перспективным направлением является применение в отопительных котельных комбинированных пароводогрейных котлов. В последние десятилетия получили также распространение автономные крышные и блок-модульные котельные, паровые и водогрейные. Блок-модульные котельные монтируются в заводских условиях и доставляются к месту их установки в собранном виде. Для включения их в работу достаточно установить их после доставки, подключить к потребителям и источнику топливоснабжения и провести пуско-наладочные работы в установленном порядке.

В зависимости от количества потребителей, присоединенных к источнику теплоснабжения ЖКХ, **различают** районные, групповые и индивидуальные котельные. Районные и групповые котельные располагаются, как правило, в отдельно стоящих зданиях. Индивидуальные – чаще в подвалах или на крышах отапливаемых зданий. Автономные автоматизированные крышные котельные, работающие на природном газе, стали получать распространение только в последние годы.

Районные котельные предназначены для централизованного теплоснабжения промышленности и жилищно-коммунального хозяйства, а также для покрытия пиковых тепловых нагрузок в теплофикационных системах. Сооружение районных котельных требует меньших капиталовложений и может быть проведено в более короткие сроки, чем сооружение ТЭЦ той же тепловой мощности.

На рисунке 6.1 приведена принципиальная тепловая **схема производственно-отопительной котельной** для закрытой системы теплоснабжения.

Тепловая схема включает в себя паровой котел (1), вырабатывающий сухой насыщенный или перегретый пар. Перегрев может потребоваться для обеспечения подачи промышленному потребителю сухого насыщенного пара, если дальность такова, что за счёт тепловых потерь температура перегретого пара снизится на величину первоначального его перегрева.

Пар после котла через редуционно-охладительную установку (13) поступает на элементы тепловой схемы и к потребителю (6) технологического пара. Давление пара вырабатываемого котлами выше давления пара отпускаемого промышленным потребителям и выше допустимого давления пара в корпусах подогревателей сетевой воды, поэтому в тепловую схему введена редуционно-охладительная установка.

У промышленного потребителя от пара отбирается необходимое количество тепловой энергии, а образовавшийся конденсат частично возвращается в котельную и поступает в атмосферный деаэратор (9). Деаэратор служит для удаления из воды растворенных в ней газов, в первую очередь кислорода перед тем, как она поступит в паровой котел или на подпитку тепловой сети.

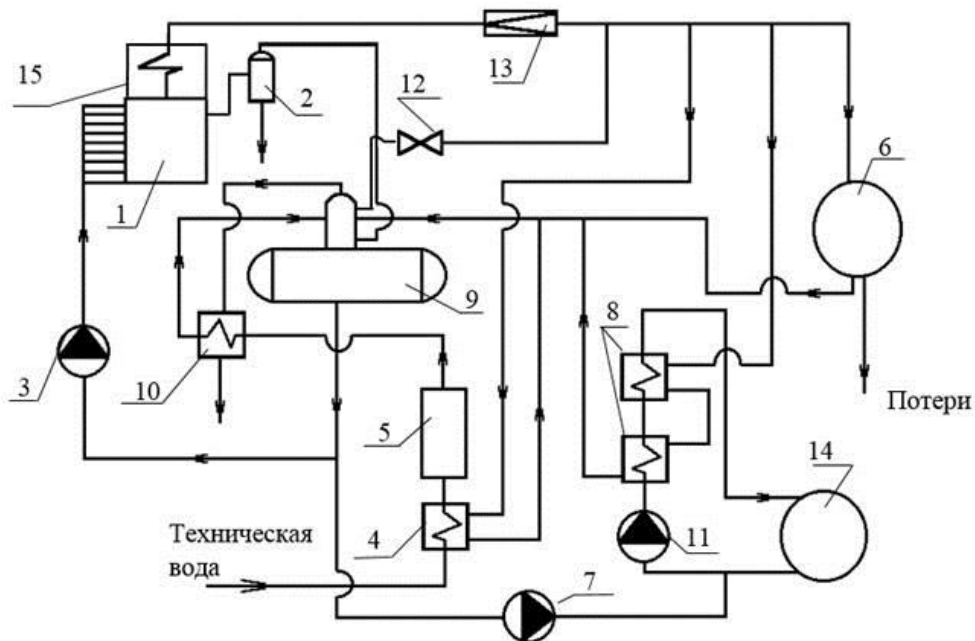


Рисунок 6.1 – Принципиальная схема отопительно-производственной котельной с паровыми котлами для закрытой системы теплоснабжения: 1 – котел; 2 – расширитель (сепаратор) непрерывной продувки; 3 – питательный насос; 4 – подогреватель сырой воды; 5 – химводоочистка (ХВО); 6 – потребитель технологического пара; 7 – насос для подпитки тепловых сетей; 8 – подогреватель сетевой воды; 9 – атмосферный деаэратор; 10 – охладитель выпара из деаэратора; 11 – сетевой насос; 12 – регулирующий клапан; 13 – редуцирующий клапан; 14 – потребитель, использующий тепло на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения; 15 – пароперегреватель

В котельной имеют место потери (утечки) теплоносителя – пара и воды, имеют место утечки также в тепловых сетях и у промышленного потребителя пара. Для восполнения этих потерь используется техническая вода, которая в котельной сначала подогревается в поверхностном подогревателе (4) до температуры 25-30 °С, а затем направляется на химводоочистку (ХВО) (5). Химводоочистка служит для приготовления воды определённого качества по жесткости. Эта величина определена нормами качества питательной воды паровых котлов, установленных в котельной.

Затем химочищенная вода подогревается в охладителе выпара деаэратора (10) и направляется в деаэратор (9), если нагрев не обеспечивается до температуры 85-90 °С, то дополнительно между охладителем выпара и деаэратором необходимо установить поверхностный пароводяной подогреватель.

Система теплоснабжения котельной включает в себя: не менее двух сетевых подогревателя поверхностного типа (8), сетевые насосы (11) и подпиточные насосы (7). Нагретая в подогревателях (8) сетевая вода по подающему трубопроводу поступает к потребителю (14), использующему тепло на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. По обратному трубопроводу охлаждённая сетевая вода возвращается в котельную

и поступает на всас сетевых насосов (11). Утечки сетевой воды в тепловой сети восполняются деаэрированной подпиточной водой с помощью подпиточных насосов (7).

При работе паровых котлов концентрация солей в котловой воде не должна превышать определённой величины, гарантирующей требуемую чистоту пара при заданных параметрах работы теплогенерирующей установки.

Для поддержания такой концентрации используется непрерывная продувка котла из верхнего барабана. Вода непрерывной продувки имеет высокий энергетический потенциал, так как её температура соответствует температуре насыщения при давлении в барабане котла. Поэтому в котельных обычно это тепло частично используется в тепловом цикле перед сбросом продувочной воды в канализацию.

Непрерывная продувка парового котла направляется сначала в расширитель (сепаратор) непрерывной продувки (2). В сепараторе (2) поддерживается давление немного выше давления в атмосферном деаэраторе (9). При этом давлении часть продувочной воды вскипает, образуется вторичный пар, который направляется в деаэратор, а оставшаяся часть продувочной воды направляется в поверхностный подогреватель исходной технической воды, где охлаждается до температуры 40 °С и затем сбрасывается в канализацию.

Атмосферный термический деаэратор (9) представляет собой подогреватель смешивающего типа. В нем поступающие в него потоки химически очищенной воды и возвратного конденсата нагреваются до температуры насыщения вторичным паром из сепаратора непрерывной продувки (2) и паром из паропровода после редуционно-охладительной установки поступающего в деаэратор через регулирующий клапан (12). При температуре насыщения растворимость газов в воде равна нулю, поэтому растворенные в ней газы выделяются из воды и удаляются из головки деаэратора через штуцер в охладитель выпара (10).

Восполнение потерь пара и конденсата в котельной и у промышленного потребителя осуществляется деаэрированной в деаэраторе (9) водой, которая питательным насосом (3) подаётся в паровой котёл (1).

Тема 6.2. Тепловые электрические станции

Электрической станцией называется комплекс устройств и оборудования предназначенного для преобразование используемого источника энергии в электрическую, т. е. выработка электроэнергии для снабжения ею промышленного и сельскохозяйственного производства, коммунального хозяйства и транспорта. Электростанции, использующие в качестве источника энергии различные виды топлива (включая атомное), могут вырабатывать одновременно и тепловую энергию, используемую для

целей теплоснабжения производственных предприятий, административных и жилых зданий и т. п.

Электрические станции классифицируют по следующим признакам.

По виду используемого источника энергии:

- тепловые электростанции (ТЭС), использующие органическое топливо;
- атомные электростанции (АЭС), в которых используется ядерное топливо;
- гидроэнергетические установки (ГЭУ), включающие в себя гидроэлектростанции (ГЭС), приливные электростанции (ПЭС), гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) и другие электростанции, использующие кинетическую энергию различных водотоков;

По виду вырабатываемой энергии (по этому признаку классифицируются только тепловые станции):

- тепловые электростанции, вырабатывающие только электроэнергию,— конденсационные электростанции (КЭС);
- тепловые электростанции, вырабатывающие электрическую и тепловую энергию,— теплоэлектроцентрали (ТЭЦ).

По виду теплового двигателя:

- электростанции с паровыми турбинами — паротурбинные ТЭС и АЭС;
- электростанции с газовыми турбинами — газотурбинные ТЭС;
- электростанции с парогазовыми установками — парогазовые ТЭС;
- электростанции с двигателями внутреннего сгорания — ДЭС.

По назначению электростанции бывают:

- районные электростанции (общего пользования), обслуживающие все виды потребителей электроэнергии и являющиеся самостоятельными производственными предприятиями, входящими в систему Минэнерго РБ, по этому признаку районные конденсационные электростанции носят название государственных районных электростанций (ГРЭС);
- промышленные электростанции, (блок-станции) входящие в состав производственных предприятий (объединений) и предназначенные в основном для энергоснабжения предприятий, а также прилегающих к ним городских и сельских районов.

Тепловые электрические станции по виду отпускаемой энергии ТЭС делятся на:

– **конденсационные электростанции (КЭС)** – отпускают потребителям только электроэнергию (ГРЭС – государственные районные электростанции). КЭС с потребителями связывают только линии электропередачи (ЛЭП), поэтому они могут находиться вдали от потребителя. КЭС, работающие на органическом топливе, строят обычно вблизи места добычи топлива, часто за тысячи километров от основных потребителей электроэнергии;

– **теплоэлектроцентрали (ТЭЦ)** – электростанции с комбинированной выработкой электрической и тепловой энергии, отпускают внешним

потребителям электрическую и тепловую энергии. ТЭЦ связана с потребителями теплопроводами, протяженность которых влияет на тепловые потери в них. Поэтому ТЭЦ обычно располагается непосредственно вблизи потребителей тепловой энергии.

Принципиальная схема паротурбинной ТЭЦ представлена на рис. 6.2: Из парогенератора 1 пар поступает в турбину 2, которая вращает вал электрического генератора 3.

Пар, отработавший в турбине, направляется в конденсатор 5, откуда насосом 6 конденсат перекачивается в деаэратор 10. Для восполнения потерь пара и конденсата в деаэратор по трубопроводу 14 подается химически очищенная вода. Питательная вода из деаэратора насосом 11 направляется в парогенератор.

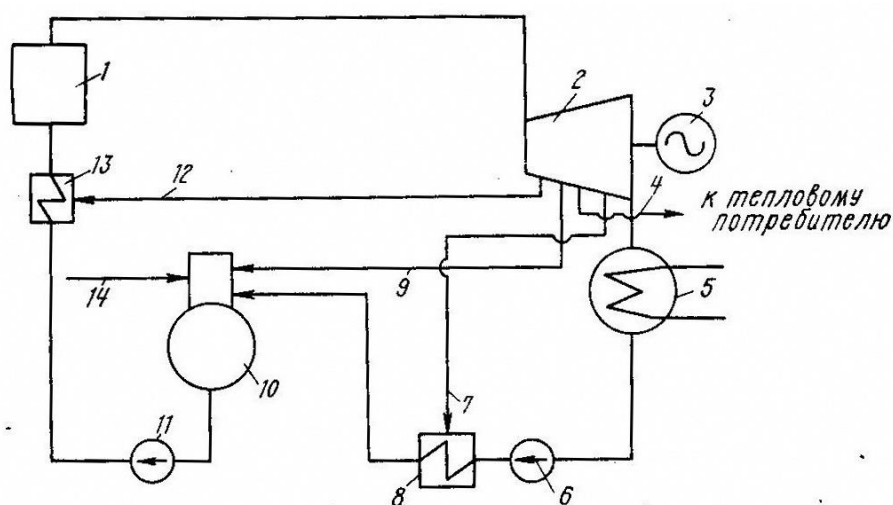


Рисунок 6.2 – Принципиальная схема паротурбинной электрической станции

Для удаления из питательной воды растворенного кислорода и других газов по трубопроводу 9 в деаэратор подается пар, который нагревает питательную воду до температуры кипения. При этом растворимость кислорода в воде снижается, он выделяется из воды и удаляется в атмосферу. Так как в деаэраторе подогревается питательная вода, то он выполняет роль ступени регенеративного подогрева, дополнительно повышающей экономичность установки.

Регенеративный подогрев питательной воды осуществляется также в подогревателях низкого давления 8 и высокого давления 13 за счет пара из регенеративных отборов 7 и 12. Таким образом, схема имеет трехступенчатый регенеративный подогрев питательной воды. Крупные установки с высокими параметрами пара имеют несколько подогревателей высокого и низкого давления, и число ступеней регенеративного подогрева в них составляет 6-8, что повышает термический КПД установки на 8-12 %.

Из регулируемого отбора 4 пар направляется тепловому потребителю. Давление этого пара регулируется в турбине с помощью поворотных диафрагм, которые прикрывают сопловые каналы и автоматически изменяют расход пара, расширяющегося после камеры отбора до давления в конденсаторе. Отбираемый пар может направляться непосредственно потребителю или в специальном теплообменнике (бойлере) нагревать воду, которая подается тепловому потребителю. Конденсат греющего пара при этом возвращается в деаэратор.

Конденсационные электрические станции имеют только регенеративные нерегулируемые отборы пара.

К основному оборудованию ТЭС относится **турбина – тепловой двигатель** – двигатель, преобразующий в механическую работу теплоту органического и ядерного топлива.

Паровые и газовые турбины **конструктивно и по принципу действия** аналогичны. Основными частями турбины являются вращающийся **ротор** и **неподвижная часть (корпус)** (рис. 6.3).

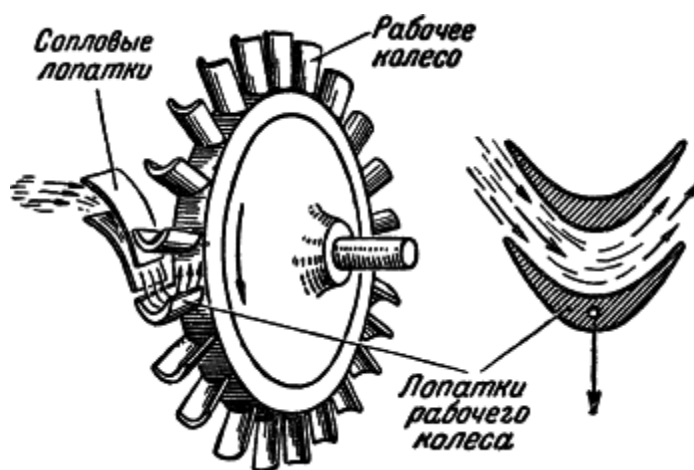


Рисунок 6.3 – Схема простейшей паровой турбины

Ротор состоит из вала и насаженных на него дисков (рабочих колес), на которых укреплены рабочие лопатки. В корпусе крепятся неподвижные направляющие лопатки, которые образуют сопла. Назначение сопел – подвести с надлежащей скоростью и направлением пар к рабочим лопаткам. Т.к. лопатки расположены по окружности колеса, то и сопла располагаются по соответствующей окружности. Ротор размещается в корпусе, а подшипники вала ротора вынесены за пределы корпуса. Ротор турбины непосредственно (с помощью соединительной муфты или через редуктор) соединяется с валом рабочей машины (электрогенератор, насос, гребной винт и др.).

В основе действия паровой турбины лежат два последовательно протекающих процесса: преобразование тепловой энергии (потенциальной

энергии) пара в кинетическую энергию его потока; передача кинетической энергии потока пара вращающемуся ротору, т.е. в механическую энергию.

Различают **основные типы турбин** (рис. 6.4):

К – конденсационные;

П – теплофикационные с производственным отбором пара;

Т – теплофикационные с отопительным отбором пара;

ПТ – теплофикационные с производственным и отопительным отбором пара;

Р – с противодавлением, без регулируемого отбора пара.

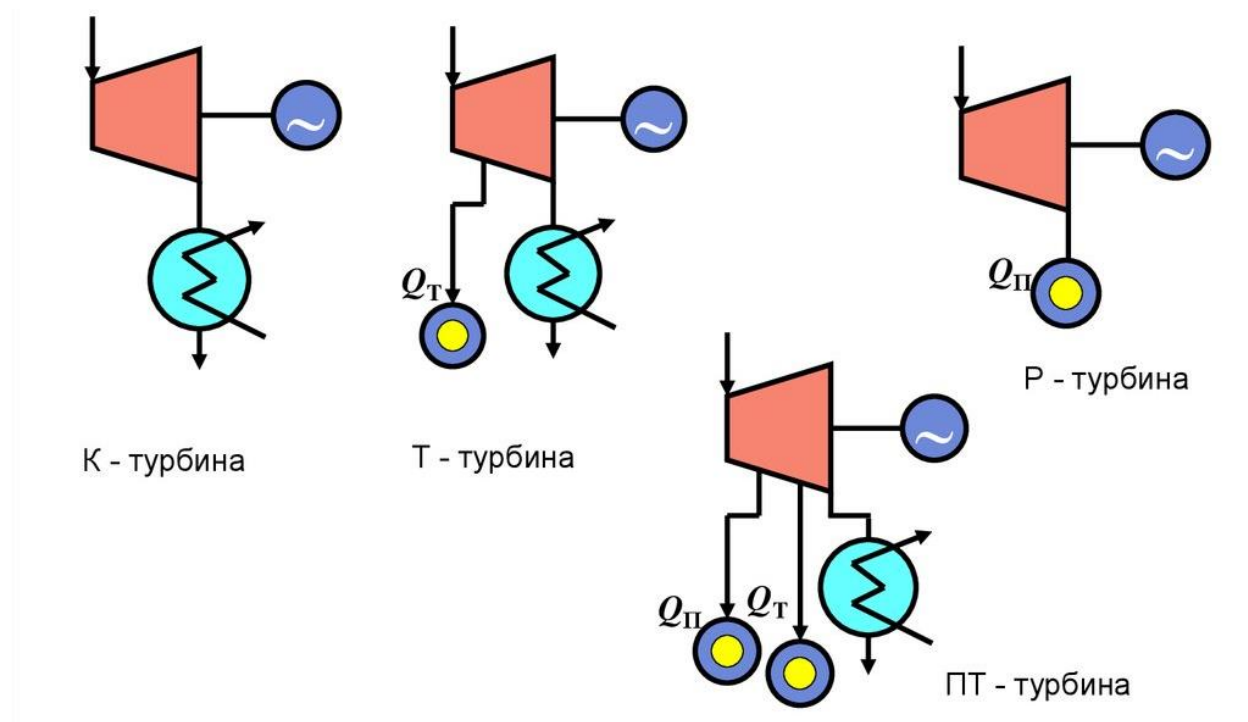


Рисунок 6.4 – Типы паровых турбин

Конденсационные турбины (тип К) предназначены для выработки электроэнергии, являются основным оборудованием ГРЭС и АЭС.

Почти весь пар, пройдя через проточную часть турбины, направляется в *конденсатор*, где выделяющаяся при конденсации теплота полностью теряется ($t_n \approx 30^\circ\text{C}$; $p_k = 3 \dots 5$ кПа). Часть пара отбирается из нескольких (2...9) промежуточных ступеней турбины для *регенеративного* подогрева питательной воды, что повышает термический КПД цикла. Эти отборы являются *нерегулируемыми* – давление отбора колеблется при изменении нагрузки (рис. 6.5).

Теплофикационные турбины предназначены для совместной выработки тепловой и электрической энергии, являются основным оборудованием ТЭЦ. Имеют нерегулируемый отбор пара для нужд регенерации и 1-2 *регулируемых отбора* пара, параметры которого автоматически поддерживаются в заданных пределах ($p = \text{const}$) независимо от условий работы турбины.

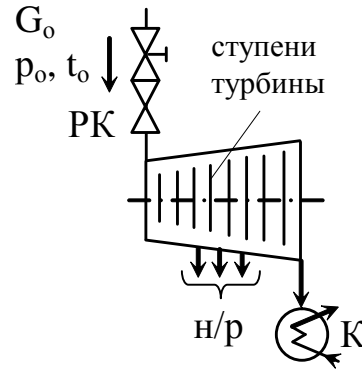


Рисунок 6.5 – Конденсационная турбина (тип К): РК – регулирующий клапан; К – конденсатор; н/р – нерегулируемые отборы пара

Регулируемый отбор пара, используемый для теплоснабжения потребителей, называется **теплофикационным** (для нужд отопления, вентиляции и ГВС – **отопительным**, для промышленных целей – **производственным**).

По конструкции и режимам работы теплофикационные турбины делятся на турбины с противодавлением и турбины с регулируемым отбором пара.

Турбины с противодавлением (тип Р) не имеют конденсаторной установки. Весь отработавший пар с давлением выше атмосферного направляется к тепловому потребителю на отопительные или производственные нужды (рис. 6.6).

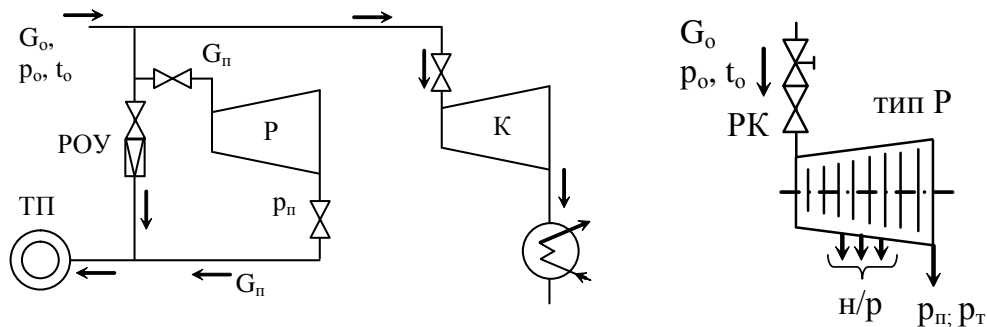


Рисунок 6.6 – Принципиальная схема установки с турбиной Р и турбиной К: ТП – тепловое потребление; РОУ – редуциционно-охладительная установка

Работают по *тепловому графику*, т.е. когда расход отработавшего пара задан и определяется **тепловым потреблением (ТП)**. Электрическая мощность турбины Р (без отборов) целиком определяется нагрузкой ТП, что часто не позволяет достаточно эффективно использовать установленную мощность турбины. Это ограничивает область применения турбин Р.

Как правило, графики потребления тепловой и электрической энергии не совпадают, и турбина Р, работая изолированно, не может полностью обеспечить потребителей электроэнергией. Поэтому турбины Р устанавливаются параллельно с турбинами К: турбина Р вырабатывает лишь ту электрическую мощность, которая определяется пропуском пара, необходимого ТП, а остальная выработка электроэнергии обеспечивается турбинами К. В часы максимальных тепловых нагрузок (если расход пара, требуемый ТП, превышает максимальную пропускную способность турбины) в линию ТП добавляется **РОУ (редукционно-охлаждающая установка)** – редуцирует свежий пар. РОУ позволяет также снабжать ТП паром в период остановов турбины Р.

Турбины с *регулируемыми отборами пара* – турбины с *конденсационной установкой* и промежуточным *регулируемым отбором пара*. Часть пара отбирается из промежуточной ступени и отводится к тепловым потребителям при $p = \text{const}$, а остальное количество пара продолжает работать в последующих ступенях и направляется в конденсатор.

Получили широкое распространение, т.к. могут одновременно отпускают внешним потребителям электрическую и тепловую энергии. Выработка электроэнергии не зависит от тепловой нагрузки.

Турбины типа Т – пар в количестве, значительно большем, чем на регенерацию, отбирается на *теплофикацию* (отопительно-вентиляционная нагрузка), а оставшийся, пройдя последние ступени турбины, направляется в конденсатор. Отбор пара – регулируемый.

Турбины типа П – пар из них отбирается для *производственных* целей и имеет более высокое давление. Производственный отбор также является *регулируемым*, т.к. потребители требуют постоянного давления.

Турбины с регулируемыми отборами пара состоят из двух частей (рис. 6.7): *ЧВД (часть высокого давления)* – группы ступеней, расположенных до регулируемого отбора; *ЧНД (часть низкого давления)* – ступени от отбора до конденсатора.

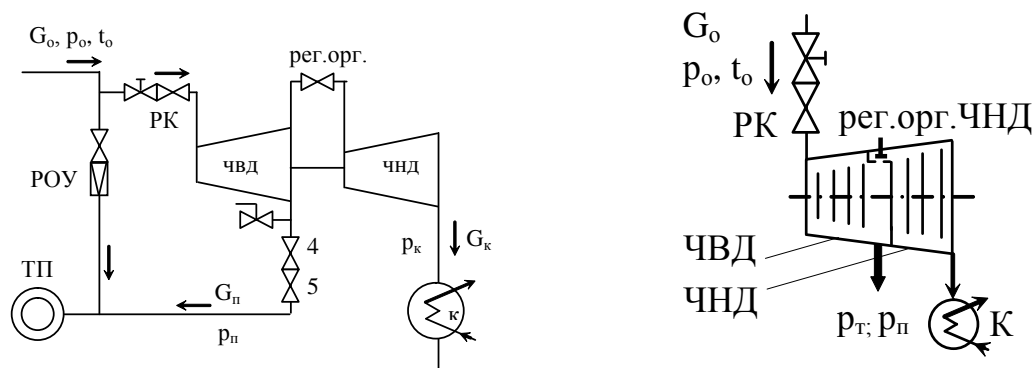


Рисунок 6.7 – Принципиальная схема турбинной установки с регулируемыми отборами пара (тип П или Т)

Свежий пар подводится к турбине с p_o, t_o через стопорный и регулирующий клапаны (РК). Пар в ЧВД расширяется до $p_n = \text{const}$ и определяется внешним тепловым потребителем. Поток пара G_o , пройдя ЧВД, разветвляется: часть пара G_n через клапаны идет к тепловому потребителю, а оставшийся пар G_k направляется через регулирующие органы в ЧНД, где расширяется до p_k в конденсаторе. РОУ служит для снабжения паром тепловых потребителей в период останова турбины.

Турбины с противодавлением и регулируемым отбором пара (ПР, ТР). Часть пара отбирается при $p = \text{const}$ из промышленной ступени, а оставшаяся часть проходит через последующие ступени и отводится к тепловому потребителю при более низком давлении (рис. 6.8).

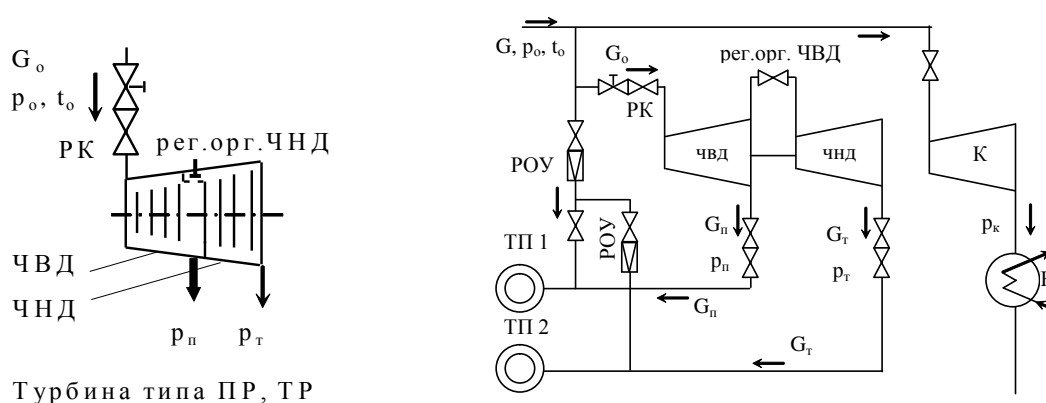


Рисунок 6.8 – Принципиальная схема турбинной установки с противодавлением и регулируемым отбором пара (ПР, ТР)

Устанавливают на ТЭЦ для обеспечения тепловых потребителей паром двух различных давлений (для отопительных и промышленных целей).

Свежий пар подводится к турбине с p_o, t_o и расширяется в ЧВД до p_n , необходимого для произв. ТП1. Далее поток пара разветвляется: часть пара G_n направляется к произв. ТП1, а оставшийся пар G_r через регулирующий орган проходит ЧНД, где расширяется до p_r , которое определяется ТП2 низкого потенциала (система отопление, горячее водоснабжение).

Турбина с противодавлением и отборами пара рационально может быть использована лишь при работе по *тепловым графикам* обоих ТП, поэтому параллельно с ней обычно включена турбина К, которая воспринимает колебания электрической нагрузки. Недостаток таких турбин – неполное использование электрооборудования установки в целом в периоды сокращенного теплового потребления.

Турбины с двумя регулируемым отборами пара (ПТ) имеют преимущество перед турбинами Р для одновременного обслуживания двух ТП с различными параметрами пара (рис. 6.9). Делятся на три самостоятельных

отсека: *ЧВД* (ступени, расположенные до промышленного отбора; *ЧСД* (ступени между отборами); *ЧНД* (ступени от теплофикационного отбора до конденсатора).

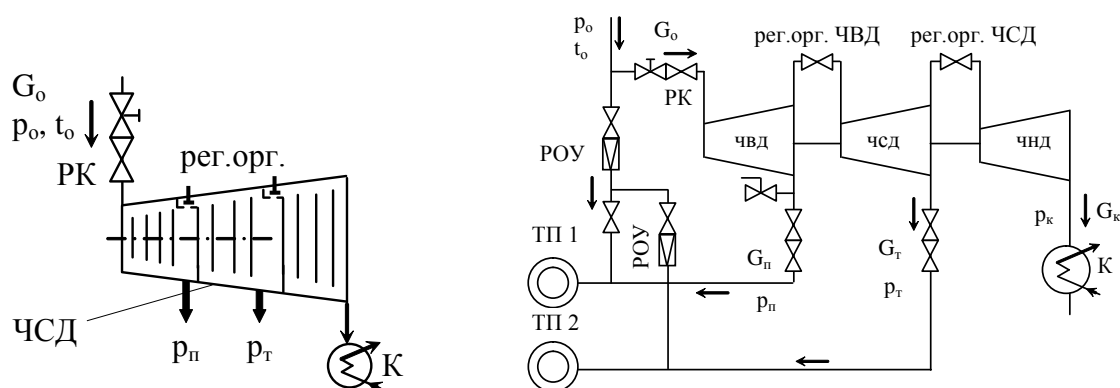


Рисунок 6.9 – Турбины с двумя регулируемыми отборами пара (ПТ)

Пар G_0 подводится к турбине с p_0, t_0 , в ЧВД расширяется до давления $p_п$, при котором часть пара отбирается для промышленного ТП. Далее пар в количестве $G_2 = G_0 - G_п$ проходит через регулирующие органы в ЧСД, где происходит его расширение до давления $p_т$, при котором производится теплофикационный отбор $G_т$ для низкопотенциального ТП 2. Оставшаяся часть пара в количестве $G_п = G_0 - G_п - G_т$ поступает в ЧНД и расширяется до $p_к$ в конденсаторе.

Маркировка турбин:

- 1) буквенный символ – указывает тип турбины;
- 2) электрическая мощность в МВт (иногда в виде дроби – номинальная / максимальная мощность);
- 3) начальное давление пара – давление пара перед турбиной (давление свежего пара) (МПа или кгс/см²). Для турбин типа П, ПТ, Р и ПР через дробь отмечается номинальное давление производственного отбора и (или) противодавление турбины;
- 4) номер модификации турбины.

Пример.

К-210-130 – конденсационная турбина, номинальной мощностью 210 МВт с начальным абсолютным давлением пара 13 МПа.

Т-110/120-130 – турбина теплофикационная с *отопительным* отбором пара, номинальной электрической мощностью 110 МВт и максимальной мощностью 120 МВт с начальным абсолютным давлением пара 13 МПа.

ПТ-60-130/13 – теплофикационная турбина, номинальной электрической мощностью 60 МВт с начальным абсолютным давлением пара 130 ат (12,8 МПа), с двумя регулируемыми отборами пара – производственным 13 ат (1,3 МПа) и теплофикационным. Давление теплофикационного отбора по справочнику (0,7-2,5 ата).

Тема 6.3. Совместная выработка тепловой и электрической энергии

Особенностью отечественного теплоснабжения является **теплофикация** – **комбинированная выработка на ТЭЦ электроэнергии и теплоты** для бытовых и технологических нужд за счет отбора и использования отработавшего пара на базе централизованного теплоснабжения. Она обеспечивает около 40% тепловой энергии, потребляемой в промышленности и коммунальном хозяйстве для нужд отопления и горячего водоснабжения.

ТЭЦ вырабатывает электрическую энергию и теплоту, отпускаемую потребителям в виде пара и горячей воды. При этом получаемый пар может быть использован тремя способами:

- непосредственно для подачи в паровые тепловые сети в основном для нужд производства;
- для подогрева воды в водяных тепловых сетях для коммунально-бытовых нужд;
- для выработки электроэнергии в паровых турбинах.

Комплекс устройств и агрегатов, предназначенных для выработки тепла в виде пара или горячей воды за счёт сжигания топлива, а также подготовки теплоносителя и подачи его в систему теплоснабжения называется **теплоподготовительной установкой (ТПУ)**. Функция ТПУ заключается в получении заданных количественных и качественных показателей для всей системы централизованного теплоснабжения, состоящей из источника и потребителей теплоты, связанных тепловыми сетями.

К основному оборудованию ТПУ относятся: пароводяные и водоводяные подогреватели, деаэраторы, редуционно-охладительные установки, насосы, трубопроводы и арматура, КИПиА.

Пароводяные подогреватели – это теплообменники, как правило, поверхностного типа. Предназначены для подогрева сетевой воды, а также сырой (водопроводной) и подпиточной (деаэрированной) воды паром либо из соответствующих отборов турбин, либо из котлов низкого или повышенного давления (в последнем случае через РОУ). Конструктивно выполняются вертикальными или горизонтальными. По характеру покрываемых тепловых нагрузок подразделяются на основные и пиковые.

Водоводяные подогреватели. Используются в качестве охладителей и подогревателей греющего пара, воды, конденсата и дренажей, имеющих различное назначение и происхождение.

Испарители и паропреобразователи являются поверхностными теплообменниками, широко применяются для уменьшения и восполнения потерь конденсата, а также во многих технических процессах. Конструктивно похожи между собой.

Деаэраторы предназначены для удаления из воды растворенных в ней коррозионно агрессивных газов – особенно O_2 . Поэтому именно его

содержание в воде, циркулирующей в ТПУ и тепловых сетях, строго регламентируется. Основным параметр деаэраторов – давление, при котором происходит кипение и деаэрация воды в нем. Деаэраторы подразделяются на атмосферные (1,2 ат), повышенного давления (6 ат) и вакуумные (0,3 ат). В ТПУ деаэраторы повышенного давления не применяются.

Редукционно-охладительные установки (РОУ) предназначены для снижения давления и температуры первичного (острого, свежего) пара до заданных параметров вторичного (редуцированного) пара перед подачей его на технологические нужды потребителя и собственные нужды ТЭС. Редуцирование пара производится дроссельным клапаном, а охлаждение – впрыском воды через сопла. После РОУ давление и температура пара регулируются автоматически.

В ТПУ широко применяются **насосы** различного назначения.

Сетевые (циркуляционные) насосы – для циркуляции воды в двухтрубных водяных тепловых сетях по замкнутому контуру – от источника ТС через ПВК в подающую линию сетей, местные системы тепловых потребителей и обратную линию сетей к источнику теплоснабжения (к сетевым подогревателям) – т.е.: **обратная линия тепловых сетей → сетевые подогреватели → ПВК → подающая линия тепловых сетей.**

Подпиточные насосы – восполняют утечки сетевой воды из тепловых сетей, а при открытой системе – для разбора воды в местные системы ГВ.

Насосы сырой воды – для подачи воды от источника водоснабжения в систему *химической водоочистки* (ХВО) для восполнения потерь рабочего тела.

Питательные насосы – для бесперебойной подачи питательной воды в парогенератор (ПГ).

Конденсационные насосы – для подачи конденсата из конденсатора через подогреватель низкого давления в деаэратор.

Циркуляционные насосы – для подачи охлаждающей воды в конденсатор с целью конденсации отработавшего пара.

Насосы обратного конденсата – для возврата от потребителя конденсата отработавшего пара.

Трубопроводы в зависимости от назначения работают с различными давлениями и температурами сред. Различают **водопроводы, паропроводы и конденсатопроводы.**

Арматура ТПУ предназначена для перекрытия или регулирования расходов сред в трубопроводах, предохранения от недопустимого повышения давления (в трубопроводах и теплообменниках), для осуществления контроля за уровнями воды в различных емкостях.

Схемы отпуска теплоты от ТЭЦ разнообразны, т.к. зависят не только от типа тепловых сетей, но и от типа теплофикационных турбин, установленных на ТЭЦ, а также от количества ступеней подогрева сетевой воды.

ТПУ в паровых и водяных системах теплоснабжения отличаются между собой способом подготовки теплоносителя и составом оборудования.

В паровых системах теплоснабжения различают следующие схемы отпуска теплоты (рис. 6.10):

- непосредственный отпуск пара из отборов или противодавления турбины;
- отпуск вторичного пара из испарительных установок;
- отпуск пара непосредственно от парогенераторов через РОУ;
- отпуск пара с помощью компрессоров.

1) Отпуск пара **из отбора или противодавления турбины** – самый простой способ. При этом происходит наибольшая выработка электроэнергии на ТЭЦ.

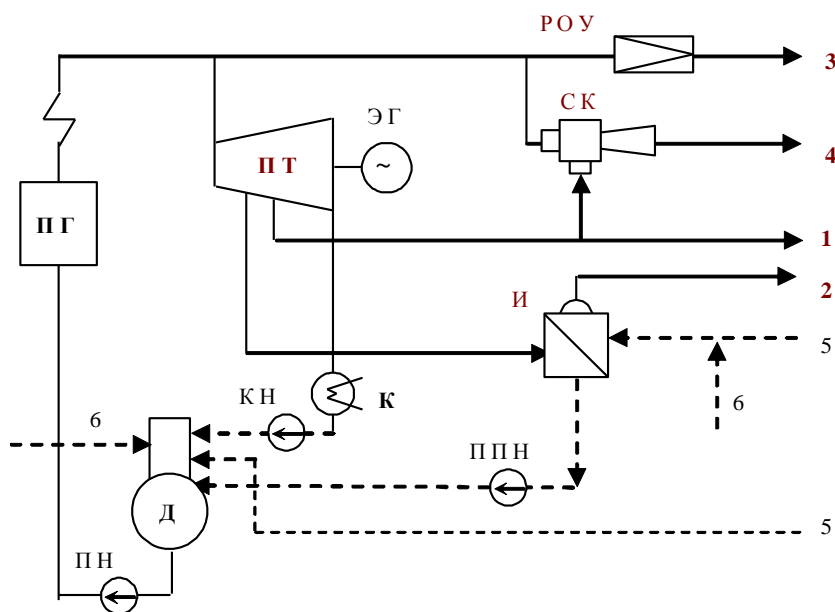


Рисунок 6.10 – Простейшая схема различных способов отпуска пара от ТЭЦ: 1 – пар из отбора турбины; 2 – вторичный пар из испарительных установок (паропреобразователей); 3 – пар после РОУ; 4 – пар после струйного компрессора; 5 – конденсат от потребителей; 6 – подпиточная вода; ПГ – парогенератор; ПТ – паровая турбина; К – конденсатор; Д – деаэрактор; ЭГ – электрогенератор; РОУ – редукционно-охлаждающая установка; СК – струйный компрессор; И – испаритель; насосы: ПН – питательный; КН – конденсатный; ППН – подпиточный

2) Отпуск вторичного пара **из испарительных установок** (паропреобразователей). Требуется дополнительных капитальных вложений и увеличивает эксплуатационные расходы на станции. Является менее экономичным по сравнению с первым способом, т.к. при обеспечении одинаковых параметров пара у потребителей давление греющего пара будет выше и, следовательно, снижается выработка электроэнергии на внешнем тепловом потреблении и ухудшается энергетическая эффективность работы

ТЭЦ. Применяется обычно при значительных потерях и загрязнении конденсата у потребителей, когда их не экономично возмещать химически очищенной-водой. Установка на ТЭЦ паропреобразователей позволяет сохранить конденсат отборного пара турбин и улучшает водный режим парогенераторов станции.

3) Отпуск пара **от парогенератора** ТЭЦ через РОУ. Самый неэкономичный способ, т.к. связан с прямыми потерями при дросселировании. Поэтому применяется в крайних случаях, для резервирования (замены) регулируемых отборов пара турбин на производственные цели или при малых расходах и несоответствии требуемых параметров пара параметрам пара в отборах турбин. Резервирование отопительных отборов турбин на ТЭЦ осуществляется за счет пиковых водогрейных котлов (ПВК).

4) Схема со **струйным термокомпрессором**. Используется, если располагаемое давление пара в промышленном отборе турбины ниже необходимого потребителям. При этом частично используется пар из отбора турбины и некоторое количество свежего пара, не выработавшего ЭЭ на тепловом потреблении. По сравнению с РОУ снижает требуемое количество перегретого пара и дополнительно вырабатывается электроэнергия на внешнем тепловом потреблении.

В водяных системах теплоснабжения нагрев сетевой воды, поступающей к потребителю, осуществляется в **сетевых подогревателях** паром из отборов турбин. Различают схемы с одноступенчатым и многоступенчатым подогревом сетевой воды.

Одноступенчатая схема наиболее проста (рис. 6.11), но на практике применяется редко из-за невысокой экономичности. Обратная сетевая вода (от потребителя), проходит последовательно охладитель конденсата и сетевой подогреватель, а затем, нагретая до необходимой температуры, поступает в подающую линию тепловых сетей и далее к потребителю. Охладитель конденсата не является обязательным элементом. Его применяют, когда давление греющего пара и его температура в сетевом подогревателе сравнительно высоки.

Теплоподготовительные установки ТЭЦ обычно работают по **двухступенчатой схеме** (рис. 6.12).

По характеру покрываемых тепловых нагрузок пароводяные подогреватели сетевой воды подразделяются на **основные** и **пиковые**.

В основных подогревателях (**1-я ступень подогрева**) сетевая вода нагревается паром 1,2...2,5 ат из отборов или противодавлений турбин до температуры не выше 100-115°C. В пиковых подогревателях (**2-я ступень подогрева**) сетевая вода нагревается от 100...115°C до 130...150°C и поэтому требуют давления греющего пара до 7 ат.

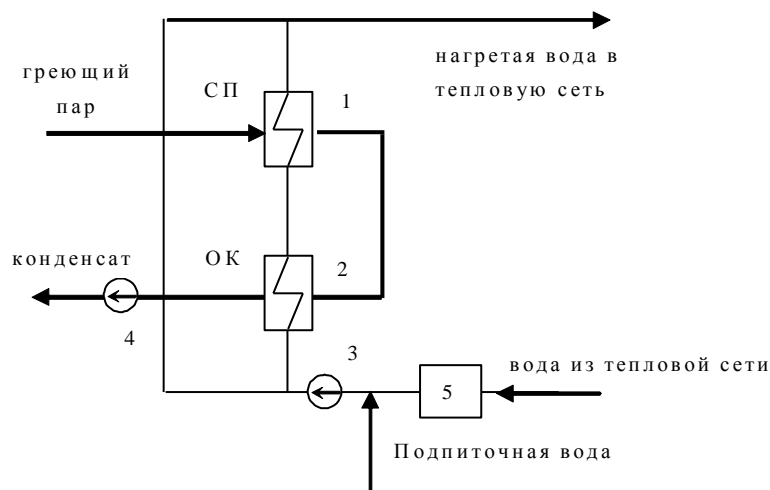


Рисунок 6.11 – Схема одноступенчатой подогревательной установки: 1 – сетевой подогреватель; 2 – охладитель конденсата; 3 – сетевой насос; 4 – конденсатный насос (КН); 5 – грязевик

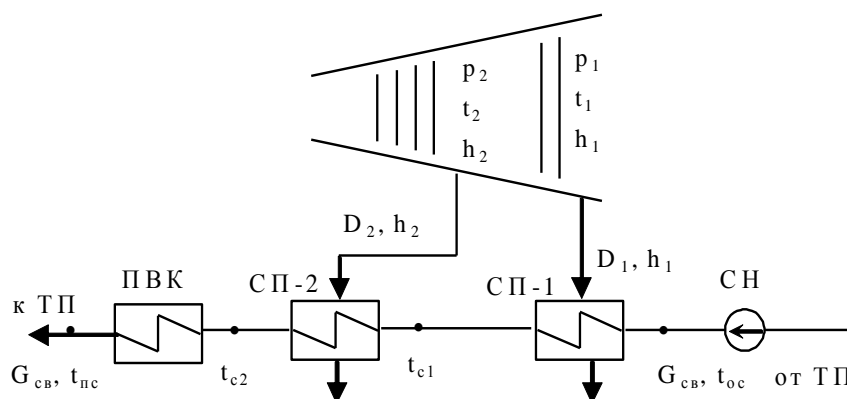


Рисунок 6.12 – Схема двухступенчатого подогрева сетевой воды: СП1 и СП2 – сетевые подогреватели 1-й и 2-й ступеней; p, t, h – соответственно давление, температура насыщения и энтальпия пара в камере отбора; t_{oc}, t_{c1}, t_{c2} – температура сетевой воды соответственно обратной, после 1-й и 2-й ступеней подогрева

Малая длительность стояния максимумов (пиков) температуры наружного воздуха, при которых в подающей линии возникает необходимость температуры сетей воды более $115...120\text{ }^{\circ}\text{C}$ и, следовательно, греющего пара давлением более $2,0...2,5\text{ ат}$, приводит к целесообразности использования для подогревателей верхней ступени в качестве греющего пара острого дросселированного до $6...7\text{ ат}$ пара от котлов или замены таких подогревателей **пиковыми водогрейными котлами (ПВК)**.

Распределение расчетной тепловой нагрузки ТЭЦ между отборами турбин (основными сетевыми подогревателями) и ПВК характеризуется **коэффициентом теплофикации**, который показывает долю расчетной тепловой нагрузки, удовлетворяемой за счет отборов турбин:

$$\alpha_m = Q_{отб}^{max} / Q_{ТЭЦ}^{max},$$

где $Q_{отб}^{max}$ – расчетная тепловая нагрузка отборов и противодавлений турбин;

$Q_{ТЭЦ}^{max} = Q_{отб}^{max} + Q_{ПВК}^{max}$ – расчетная тепловая нагрузка ТЭЦ, равная суммарной тепловой нагрузке района;

$Q_{ПВК}^{max}$ – максимальная тепловая нагрузка, отпускаемая от ПВК.

Распределение тепловой нагрузки ТЭЦ между отборами турбин и ПВК можно наглядно показать на графике продолжительности суммарной тепловой нагрузки (рис. 6.13). На графике различают базовую, *слабопеременную* и *пиковую* (резкопеременную, с большой разницей абсолютных значений) части.

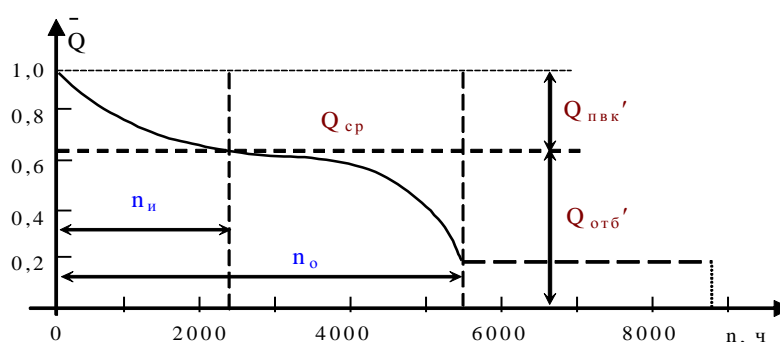


Рисунок 6.13 – График продолжительности тепловой нагрузки

Базовую часть графика составляют **круглогодичные** нагрузки (технология и ГВС), а **переменную часть** графика – **сезонные** нагрузки (отопительно-вентиляционные). Причем продолжительность максимальных (пиковых) нагрузок относительно небольшая, т.к. длительность стояния низких температурах наружного воздуха невелика и составляет 10...15 % продолжительности отопительного периода (2500...5000 ч/год для Беларуси), в зависимости от климатической зоны.

При максимальной нагрузке ТЭЦ от ПВК отпускается значительная доля расчетной тепловой нагрузки (~50 %). Но от годового отпуска теплоты ТЭЦ доля теплоты, удовлетворяемая ПВК, невелика – до 15...18 %.

Выбор оптимального значения производится на основании технико-экономических расчетов. Оптимальная величина α_T зависит от совершенства оборудования ТЭЦ и котельных, удельных капвложений в сооружение этих установок, вида и стоимости топлива, характера графика тепловой нагрузки и резерва электрической мощности в энергосистеме. Оптимальное значение α_T может находиться в пределах 0,4...0,7. Чем дороже топливо, совершеннее теплофикационные турбины и больше удельная комбинированная выработка электроэнергии, тем выше оптимальное значение α_T .

К основному оборудованию ТЭЦ относятся турбинные установки, энергетические парогенераторы и пиковые водогрейные котлы.

Для ТЭЦ, работающей в энергосистеме, мощность и тип основного оборудования определяются главным образом тепловой нагрузкой потребителей систем теплоснабжения плюс мощность собственных нужд и плюс мощность, затрачиваемая при передаче энергии в тепловых сетях (т.е. потери в тепловых сетях). Недостаток электроэнергии для снабжения потребителей удовлетворяется за счет энергосистемы, а избыточная электроэнергия от ТЭЦ направляется в систему.

Тепловая нагрузка ТЭЦ бывает:

- **технологическая** (для нужд производства) – применяется пар с давлением 0,4...1,2 МПа (технологические аппараты: 0,6...0,8 МПа; производственные агрегаты с паровым приводом 1,2...1,8 МПа и в ряде случаев 3,5 и 9 МПа);

- **коммунально-бытовая** (отопление и вентиляция жилых и производственных помещений; горячее водоснабжение для бытовых нужд и нужд производства) – применяется горячая вода, нагреваемая паром низкого давления до 0,3 МПа из отборов турбин.

Район теплоснабжения с жилым и промышленным сектором характеризуется:

- технологической тепловой нагрузкой – расходом пара на производство и давлением производственного пара;

- коммунально-бытовой тепловой нагрузкой на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение – расчетный расход теплоты по проектируемому району с учетом тепловых потерь теплопроводами.

Отпуск ТЭ от ТЭЦ потребителям осуществляется:

- на технологические цели производства – обычно в виде пара из отборов (турбины типа П, ПТ) или противодавления турбин (турбины типа Р);

- на коммунально-бытовые нужды (отопление, вентиляцию, ГВС) – как правило, в виде горячей воды.

При выборе основного оборудования ТЭЦ в первую очередь производится выбор **турбинной установки**, т.к. тепловые нагрузки ТЭЦ покрываются паром из отборов (или противодавления) турбины.

Паровые турбины **характеризуются**:

- номинальной электрической мощностью, кВт;

- давлением, ата, и температурой, °С, свежего пара – параметры пара, поступающего в Т из ПГ;

- числом и параметрами (р, ата, t, °С) нерегулируемых (регенеративных) отборов;

- температурой питательной воды – воды, поступающей в парогенератор;

- давлением отработавшего пара (в конденсаторе) или противодавлением (на выходе из турбины типа Р), ата;

- параметрами (t, С; G, м³/ч) охлаждающей воды в конденсаторе;

- параметрами отборов пара (теплофикационного и/или производственного): давлением, ата; температурой, °С; величиной отбора, т/ч;
- расходом свежего пара при номинальной нагрузке и номинальной величине отборов, т/ч;
- максимальным расходом пара через части турбины (ЧВД, ЧСД, ЧНД), т/ч;

и др. характеристиками, в т.ч.: геометрическими размерами турбины и строительных конструкций; весом.

При этом распределение тепловой нагрузки между *основными* и *пиковыми* подогревателями или ПВК учитывает коэффициент теплофикации:

$$\alpha_m = Q_{отб}^{max} / Q_{ТЭЦ}^{max} .$$

Отсюда величина тепловой нагрузки ТЭЦ, отпускаемой из отборов теплофикационных турбин, определяется по формуле

$$Q_{отб}^{max} = \alpha_m Q_{ТЭЦ}^{max} ,$$

где $\alpha_t = 0,4 \dots 0,7$ – можно ориентировочно определить по графику продолжительности тепловой нагрузки, приняв $\sum Q^{max} = 1$, тогда $\alpha_t \approx Q_c^{cp}$.

Количество теплоты $Q_{отб}^{max}$, кВт, отпускаемое турбиной с теплофикационным расходом отборного пара D_t , кг/с, определяется как

$$Q_{отб}^{max} = D_m r , \tag{??}$$

где $r = 2200 \dots 2260$ кДж/кг – скрытая теплота парообразования; зависит от давления пара в отборе $p = 0,05 \dots 0,25$ МПа (0,5...2,5 бар); $t = 115 \dots 120$ °С.

Типоразмер паровой турбины определяется величиной и характером тепловой нагрузки:

- тепловая энергия на *технологические* цели производства отпускается от ТЭЦ обычно в виде пара из регулируемых *отборов* или *противодавления* турбин типа Р, П, ПТ. При этом отдается предпочтение турбинам **типа Р**, как наиболее простым, дешевым и экономичным по сравнению с др. типами турбин; далее – турбинам **типа П**. Типоразмер турбин выбирается по значениям *давления* (ата) и *величине производственного отбора* (т/ч) турбины, которые должны соответствовать (быть не меньше!) давлению и расходу технологического пара потребителя.

- тепловая энергия на *отопительные* нужды (отопление, вентиляция и ГВ) потребителям отпускается от ТЭЦ в виде горячей воды, подогреваемой в сетевых подогревателях паром из регулируемых *отборов* (иногда противодавления) турбин **типа Т** или **ПТ** (иногда **Р**).

Типоразмер турбин определяет **расход пара** из теплофикационного отбора, кг/с (т/ч) (**величина отбора**), который обеспечивает необходимую тепловую нагрузку (кВт):

$$D_m = Q_{отб}^{max} / r .$$

При наличии у потребителя и *технологической* и *отопительной* нагрузки вначале выбирают турбины, отпускающие тепловую энергию на *технологию*. Если для производственных целей выбраны турбины *типа ПТ*, необходимо учесть отпуск тепловой энергии турбинной данного типа на отопительные цели из теплофикационного отбора, величина которого (т/ч) определена маркировкой турбины. Если отопительная нагрузка турбиной типа ПТ полностью не покрывается, дополнительно выбирают турбины *типа Т* или Р.

Если расход пара на отопительные группы потребителей невелик и для них нецелесообразно устанавливать на ТЭЦ турбину с соответствующим давлением в отборе или противодавлении, то такие потребители снабжаются паром более высокого давления, отпускаемым от турбин или парогенератора, который *дресселируется* на ТЭЦ или на месте потребления.

Энергетические парогенераторы ТЭЦ снабжают паром турбинную установку и выбираются в соответствии с типоразмером турбин.

Марку парогенератора и его технические характеристики (параметры пара, топливо, температура уходящих газов, КПД) выбирают на основании **паропроизводительности**, т/ч, парогенератора:

$$G_{ПГ} = 1,03 \cdot G_T^{max} ,$$

где G_T^{max} – максимальный пропуск перегретого пара через турбину, т/ч (через ЧВД); 1,03 – коэффициент, учитывающий *собственные нужды и запас* до 3%.

Давление свежего пара на выходе парогенератора должно быть чуть выше давления свежего пара, поступающего в турбину; *например* давление свежего пара, ата, в турбине/котле: 35/40; 90/100; 130/135; 140; 240/255.

Пиковый водогрейный котел (ПВК) устанавливается для *покрытия максимума* отопительной (теплофикационной) *тепловой нагрузки*; определяется как:

$$Q_{ПВК}^{max} = Q_{ТЭЦ}^{max} - Q_{отб}^{max} = Q_{ТЭЦ}^{max} \cdot (1 - \alpha_m) ,$$

выбирается по теплопроизводительности (Гкал/ч), при этом 1 кВт = $3,6 \cdot 10^{-3} / 4,19$ Гкал/ч.

Сетевые подогреватели выбирают по расходу воды, а так же по давлению воды и давлению пара из отбора турбины, направляемого в подогреватель.

Тема 6.4. Газотурбинные установки

Газотурбинная установка (ГТУ) — энергетическая установка: конструктивно объединённая совокупность газовой турбины, электрического генератора, газоздушного тракта, системы управления и вспомогательных устройств (пусковое устройство, компрессор, теплообменный аппарат или котёл-утилизатор для подогрева сетевой воды для промышленного снабжения).

Газотурбинная установка (рис. 6.14) представляет собой газовую турбину, соединённую с электрическим генератором. Газовые турбины работают на жидком и газообразном топливе. В энергетике, обычно, рабочим топливом служит природный газ, резервным – дизельное топливо.

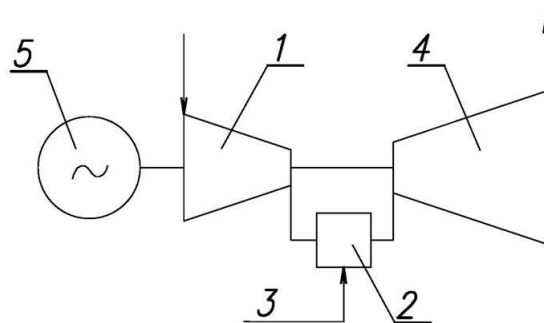


Рисунок 6.14 – Простейшая схема ГТУ: 1 – турбокомпрессор; 2 – камера сгорания; 3 – подача топлива; 4 – газовая турбина; 5 – электрогенератор

Газ поступает по газопроводам и тщательно подготавливается. Очищается от механических частиц, чтобы не навредить лопаточному аппарату турбин и сжимается до нужного давления. Для пуска и работы газовой турбины необходимо большое количество воздуха. Подачу воздуха в **камеру сгорания** ГТУ осуществляется **турбокомпрессором**, установленным на одном валу с генератором и турбиной. При достижении необходимого числа оборотов, и, как следствие необходимого расхода воздуха через камеру сгорания, в неё подаётся **топливо**, начинает работать газовая турбина и генератор включается в сеть энергосистемы. Расходом топлива регулируется мощность установки. Продукты сгорания топлива выбрасываются в дымовую трубу. ГТУ очень манёвренны. Если на пуск паровой турбины из холодного состояния требуется несколько часов, то пуск ГТУ производится за 30-60мин, поэтому ГТУ могут работать в пиковом режиме энергосистемы, когда срочно необходима выработка. К недостаткам ГТУ следует отнести её не высокий КПД, так как большая доля тепла выбрасывается в трубу с уходящими газами. Этого недостатка лишены парогазовые установки (ПГУ).

Парогазовая установка (ПГУ) объединяет в себе ГТУ и ПТУ (паротурбинную установку). Уходящие газы ГТУ не выбрасываются в трубу, а

поступают в котёл-утилизатор, конструкция которого похожа на конструкцию паровых энергетических котлов. Система дополняется схемой водоподготовки котловой воды. В котле-утилизаторе происходит выработка пара необходимых параметров для работы паровой турбины. Вода из конденсатора откачивается конденсатными насосами турбины в деаэратор, где освобождается от кислорода и питательным насосом подаётся обратно в котёл. Деаэратор подогревается паром отбора турбины (рис. 6.15).

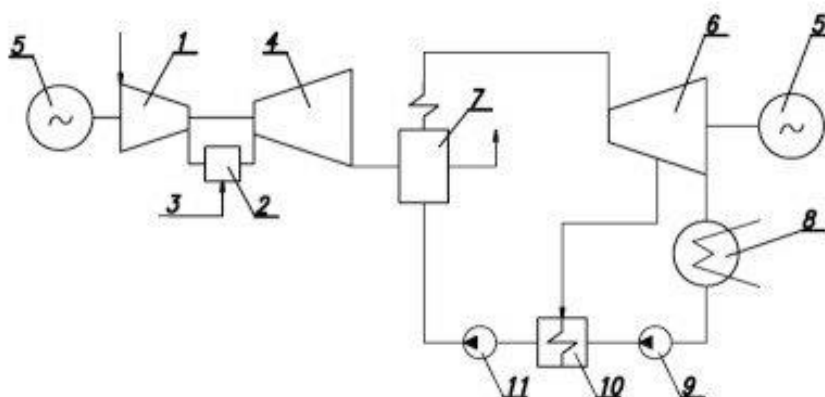


Рисунок 6.15 – Простейшая схема ПГУ: 1...5 – см. рис. 6.14; 6 – паровая турбина; 7 – котел-утилизатор; 8 – конденсатор; 9 – конденсатный насос; 10 – деаэратор; 11 – питательный насос

Пуск ПГУ начинается с раскрутки ГТУ, как описано выше. По мере пуска ГТУ и набора ею нагрузки, включается котёл-утилизатор, начинается прогрев и пуск паровой турбины. После набора параметров, генератор паровой турбины включается в сеть.

Таким образом, потери тепла значительно сокращаются и КПД такой электростанции стремительно возрастает.

Одним из способов повышения экономичности ГТУ является **регенерация теплоты** – использование теплоты отработавших в турбине газов для подогрева воздуха, поступающего в камеру сгорания. Для этого воздух, сжатый в компрессоре, перед камерой сгорания нагревают в регенераторе продуктами сгорания, отработавшими в газовой турбине. Продукты сгорания отдают часть теплоты воздуху и выбрасываются в атмосферу, а подогретый воздух поступает в камеру сгорания (рис. 6.16).

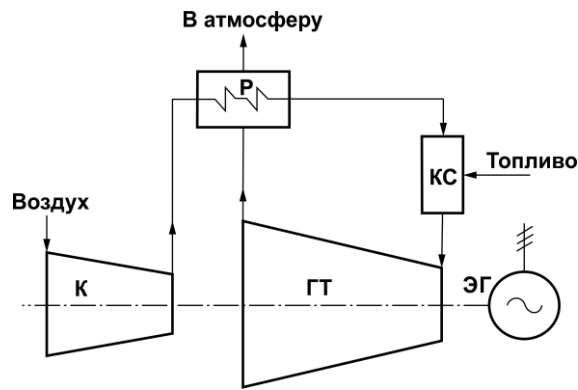


Рисунок 6.16 – Схема ГТУ с регенерацией теплоты уходящих газов: К – компрессор; Р – регенератор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина; ЭГ – электрогенератор

Когенерация – это технология **комбинированной выработки энергии**, позволяющая резко увеличить экономическую эффективность использования топлива, так как при этом в одном процессе производятся два вида энергии – электрическая и тепловая.

Отличием от теплофикации является утилизация тепла после получения электроэнергии (фактически использование вторичного энергоресурса – тепла после отработки в установках по производству электроэнергии). При теплофикации процесс выработки электроэнергии и тепла идет параллельно.

Когенерационные электростанции обеспечивают одновременное производство тепловой и электрической энергии. Технологии когенерации и характерное для них соотношение производимой электрической и тепловой энергии:

- парогазовые установки (газовые турбины в сочетании с утилизацией отходящего тепла и паровой турбиной одного из типов, перечисленных ниже) – 0,95;
- паротурбинные установки (с противодавлением) – 0,45;
- конденсационные турбины с отбором пара (с противодавлением, регулируемым или нерегулируемым отбором пара) – 0,45;
- газовые турбины с утилизацией отходящего тепла – 0,55;
- двигатели внутреннего сгорания (поршневые двигатели Отто или дизельные двигатели с утилизацией тепла) – 0,75;
- микротурбины, двигатели Стирлинга, топливные элементы (с утилизацией тепла); паровые двигатели, органический цикл Ренкина и другие типы.

Важной характеристикой процесса когенерации является отношение количества произведенной электроэнергии к количеству произведенной тепловой энергии. Эта величина меньше 1 в том случае, если установка производит меньше электрической энергии, чем тепловой. При анализе установок следует использовать значения соотношения электрической и тепловой энергии, основанные на фактических данных.

Малая или **мини-электростанция** – установка, которая превращает энергию разных типов в электрическую энергию, при этом имеет небольшую мощность по сравнению с традиционными электростанциями. В разных странах нет четкой классификации генерирующих мощностей по отношению по мощности к категории к малым электростанциям. В одних странах электростанция считается малой, если ее мощность меньше 10 МВт, в других – если мощность меньше 5 МВт.

Малые (мини) электростанции крайне важны там, где нет централизованного электроснабжения. Или сетевое электричество весьма дорого, а вокруг имеются большие объемы дешевого твердого топлива. Именно в условиях отсутствия централизованного электроснабжения на мини-электростанциях только и возможно производить электричество для нужд населения и экономики.

Основное отличие малых тепловых электростанций от электростанций большой или средней мощности заключается в разном типе силовых машин. Силовые машины «большой электроэнергетики» представляют собой осевые паровые турбины, но в мощностях меньше 4-6 МВт паровые турбины существенно теряют свою эффективность (КПД) и в мощностях менее 2 МВт высоко-эффективных осевых турбин на нынешнем уровне развития техники встретить почти невозможно.

Поэтому арсенал силовых машин малых электростанций весьма велик, но в нем практически нет осевых паровых турбин. На их месте можно встретить разнообразие экзотических турбинных (проточных) машин разных классов: радиальные и винтовые – спиральные турбины. А так же дизельные и газовые ДВС, газовые турбины, как и паровые роторные и поршневые двигатели.

Так же установки малых электростанций могут базироваться на системах использования возобновляемых источников энергии – энергии солнца, ветра, геотермального тепла и пр. Мощность таких электростанций в одном кластере установок редко превышает 10 МВт, поэтому можно говорить, что вся распределенная и альтернативная энергетика на использования возобновляемых источников энергии базируется преимущественно именно на малых и мини электростанциях.

Мини-ТЭЦ или малая теплоэлектроцентраль представляет собой энергетическую теплосиловую установку, предназначенную для электроснабжения и теплоснабжения потребителей. Фактически – это тепловая электростанция, но малой мощности, не превышающей 25 МВт, принцип работы которой основан на сжигании разнообразных видов топлива.

В силу чего она обладает: автономностью, компактностью, независимостью, возможностью выступать в роли дублирующего (резервного) источника любых необходимых энергетических ресурсов: электричества, горячей воды и пара, а иногда ещё и холода, сжатого воздуха и продуктов его разделения.

Принцип действия установки в малых масштабах повторяет техническую схему работы ТЭЦ, где вращение лопастей турбины под воздействием перегретого пара преобразуется генератором в электрическую энергию. С той лишь разницей, что иногда вместо паровой турбины находят применение **газовые и дизельные агрегаты**.

Принцип работы их не требует выработки пара, заменяемого топливно-воздушной смесью, приводящей в движение механизм, преобразующий энергию движения поршней во вращение двигателя. Что вызывает работу электрогенератора.

Как и обычные стационарные тепловые электростанции, мини-ТЭЦ включают в себя устройство ряда обязательных элементов:

- силового агрегата – газопоршневого, газотурбинного или дизельного двигателя. Предназначенного для получения механической энергии вращения посредством использования внутренней тепловой энергии топлива, извлекаемой вследствие сгорания топлива.

- электрогенератора, приводимого в действие двигателем, обычно находящегося с ним на одном валу.

- теплообменника, выполняющего роль утилизатора тепла, забираемого от охлаждающей двигатель воды, машинного масла, выхлопных газов.

- ряда вспомогательных устройств, предназначенных для хранения и подачи воды, топлива, масла; отвода уходящих газов; приёма и распределения электрической энергии; устранения пиковых нагрузок тепловой энергии – водогрейного котла; обеспечения безопасности и контроля.

Тема 6.5. Децентрализованное теплоснабжение

Децентрализованное (автономное) теплоснабжение – это система, в которой источник теплоты и теплоприемники потребителей либо совмещены в одном агрегате, либо размещены так близко, что передача теплоты от источника до теплоприемников может осуществляться без тепловых сетей.

Достоинства:

- пользователь самостоятельно регулирует температурный режим исходя из своих ощущений теплового комфорта, в том числе сам принимает решение о начале отопительного сезона

- возможно достичь не только снижения капитальных вложений за счет отсутствия тепловых сетей, но и переложить расходы на стоимость жилья (т. е. на потребителя).

Недостатки:

- ухудшает показатели экономической эффективности системы централизованного теплоснабжения города;

- уменьшается подключенная тепловая нагрузка к городской котельной, что приводит к увеличению себестоимости отпускаемой тепловой энергии;

- малые автономные источники (крышные котельные, квартирные теплогенераторы) рассчитаны на сжигание только одного вида топлива – сетевого природного газа, что, естественно, отрицательно сказывается на надежности теплоснабжения;

- установка квартирных теплогенераторов в многоэтажных домах при нарушении их нормальной работы создает непосредственную угрозу здоровью и жизни людей.

Согласно СП 41-104-2000 «Проектирование автономных источников теплоснабжения» котельные по размещению подразделяются на: отдельно стоящие, пристроенные к зданиям другого назначения, встроенные в здания другого назначения независимо от этажа размещения, крышные (рис. 6.17).



КРЫШНЫЕ



ВСТРОЕННЫЕ



ПРИСТРОЕННЫЕ



БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫЕ

Рисунок 6.17 – Автономные котельные

Тепловая мощность встроенной, пристроенной и крышной котельной не должна превышать потребности в теплоте того здания, для теплоснабжения которого она предназначена.

Для жилых зданий допускается устройство пристроенных и крышных котельных. Указанные котельные допускается проектировать с применением водогрейных котлов с температурой воды до 115 °С.

Для общественных, административных и бытовых зданий допускается проектирование встроенных, пристроенных и крышных котельных при применении: водогрейных котлов с температурой нагрева воды до 115 °С; паровых котлов с давлением насыщенного пара до 0,07 МПа (0,7 кгс/см).

Для производственных зданий промышленных предприятий допускается проектирование пристроенных, встроенных и крышных котельных с применением котлов с давлением пара до 0,07 МПа (0,7 кгс/см) и температурой воды до 115 °С.

В автономных котельных рекомендуется применять котлы полной заводской готовности. Целесообразна поставка укрупненных блоков оборудования и трубопроводов, стыкующихся на месте монтажа.

Блочно-модульные котельные. Транспортабельные (блочные) котельные установки – это передвижные котельные установки полной заводской готовности, предназначенные для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения объектов производственного, жилищного и социального назначения. Котельные установки работают на природном газе, сжиженном газе, дизельном топливе, мазуте, нефти и твердом топливе (угле, дровах, пеллетах и т.д.). Все технологическое оборудование размещено в блоке заводского изготовления (рис. 6.18).

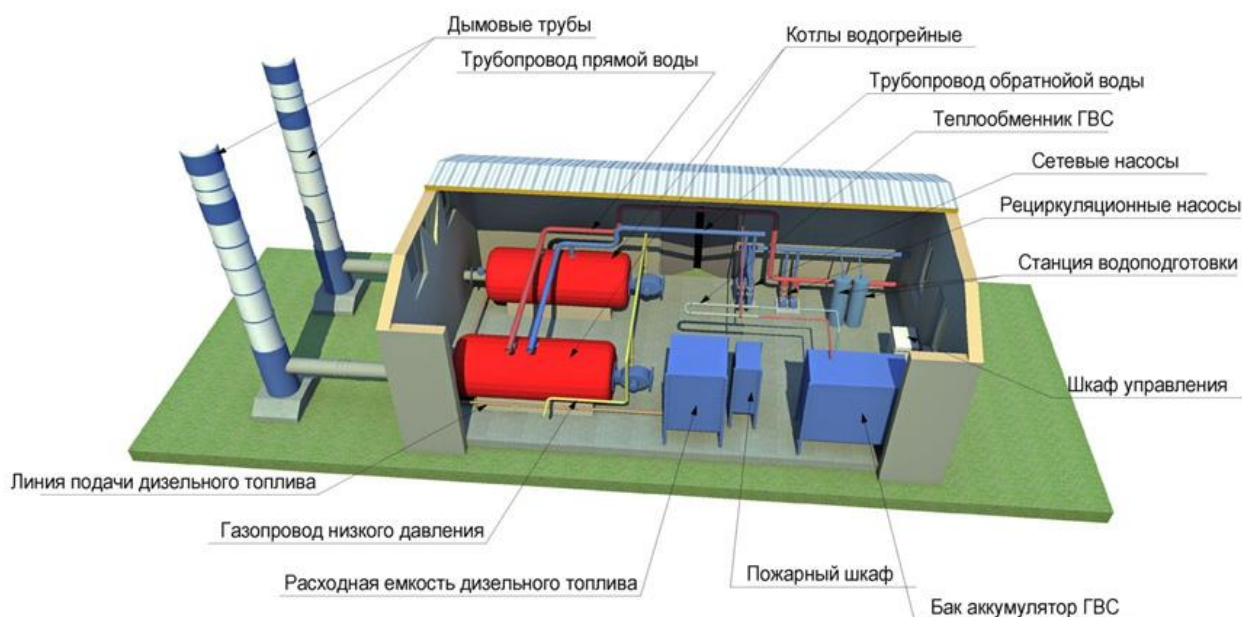


Рисунок 6.18 – Блочно-модульная котельная – типовая комплектация

Блочно-модульная котельная – это котельная в виде отдельного блока или модуля, полностью укомплектованная всем необходимым для работы оборудованием. За счет компоновки модуль котельной может легко транспортироваться и объединяться в блоки с другими модулями котельной. Модульная котельная устанавливается отдельно-стоящим зданием на подготовленную ровную площадку, в случае необходимости модули собираются в блоки и подключаются к системам газоснабжения и отопления объекта, для обеспечения горячего водоснабжения, отопления, потребности в технологическом паре.

Подключение блочно-модульной котельной к основным потребителям производится посредством теплотрассы, паропроводов, трубопроводов.

Блочно-модульная котельная состоит из блока-модуля, в котором располагается котел, необходимая арматура, автоматика, приборы и другие системы, необходимые для работы котельной.

Удобство эксплуатации модуля.

По сравнению с ценами центральных тепловых систем производство теплоносителя такими установками обойдется намного дешевле. Модельный ряд таких котельных установок довольно широкий. Для конкретных условий можно подобрать нужный вариант нужной мощности и комплектации. Чем удобен котельный модуль, тем, что его мощность можно наращивать, объединяя в каскаде подобные котельные установки. Такой модуль как легко установить, так и демонтировать. В работу модульной установки обычно устанавливают в ряд два котла. Они могут работать попеременно или дополнять друг друга в условиях зимнего времени. Работа без обслуживающего персонала возможна благодаря автоматике регулирования. Все параметры работы котельной передаются дистанционно на пульт управления оператору, который находится вне модуля, даже на значительном расстоянии. Он управляет работой нескольких модулей. Стандартный комплект котельного модуля включает: водогрейный котел, контурные насосы, регуливающую арматуру, счетчики учета газа, воды, электричества, станцию химводоочистки, приборы КИП, здание модуля, сигнализаторы утечки газа, трубопроводы, электрооборудование. Недостатками БМК являются: - ограничения по площади при размещении оборудования - низкая единичная мощность теплогенератора в блоке

Крышная котельная — автономный источник отопления, предназначенный для обогрева и обеспечения горячим водоснабжением жилых и производственных помещений. Своё название крышная котельная получила из-за места расположения: её возводят на крыше здания в специально оборудованном помещении, при этом тепловой пункт может быть расположен как в помещении крышной котельной, так и в подвале здания-потребителя, а также на цокольном или на первом этажах.

Отопление на базе инфракрасного излучения – одна из разновидностей систем **отопления**, где в качестве источников тепла используются **инфракрасные** излучатели (рис. 6.19).

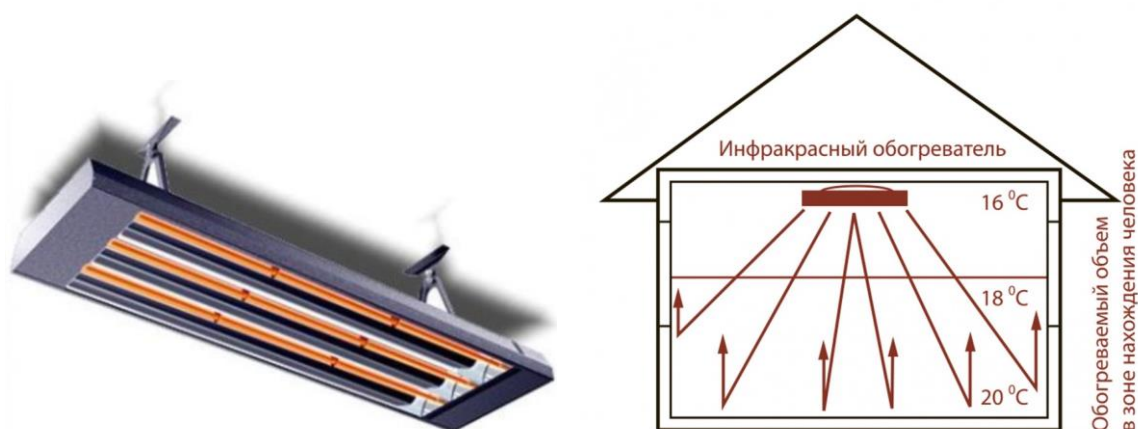


Рисунок 6.19 – Инфракрасное отопление

Инфракрасное отопление может использоваться как в качестве вспомогательного, так и самостоятельного основного типа отопления. Благодаря особенностям **ИК-излучения** возможна организация локального отопления, при котором тепло подается лишь в те зоны, где это необходимо, что особенно актуально в крупных помещениях с высокими потолками. Большую перспективу для теплоснабжения жилья и промышленных предприятий представляет использование **тепловых насосов**. Источником низкопотенциальной тепловой энергии может быть тепло как естественного, так и искусственного происхождения.

В качестве естественных источников низкопотенциального тепла могут быть использованы: тепло земли (тепло грунта); подземные воды (грунтовые, артезианские, термальные); вода естественных и искусственных водоемов (рек, озер, морей, прудов, водохранилищ); наружный воздух. В качестве искусственных источников низкопотенциального тепла могут выступать: удаляемый вентиляционный воздух; канализационные стоки (сточные воды); промышленные сбросы; тепло технологических процессов; бытовые тепловыделения.

По испарителю воздушного теплонасоса циркулирует **хладагент** — незамерзающая и легкоиспаряющаяся жидкость, которая закипает при низких температурах (рис. 6.20).

Температура хладагента всегда ниже температуры воздуха и, следовательно, под её воздействием хладагент закипает и преобразуется в пар. Парообразный фреон поступает в компрессор, где сжимается. Под воздействием высокого давления пар хладагента разогревается, это тепло поступает в конденсатор. В конденсаторе горячий пар передаёт тепловую энергию в контур отопления и нагрева воды.

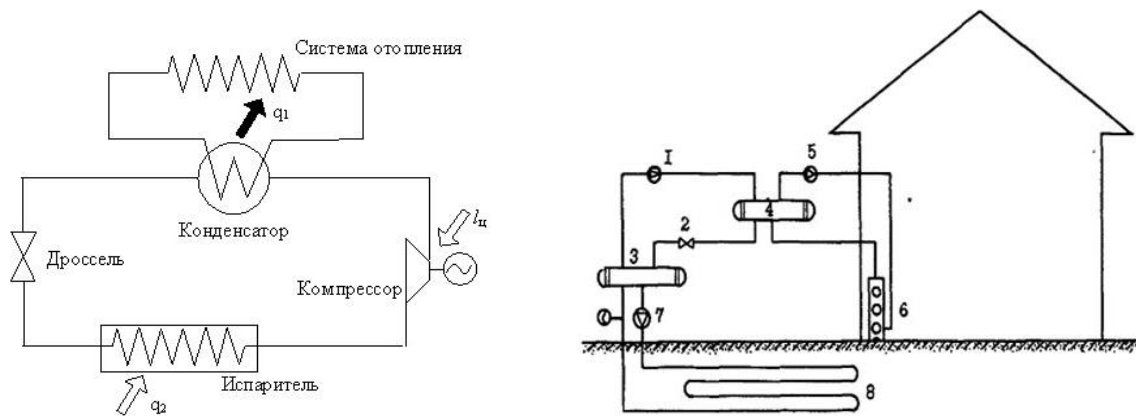


Рисунок 6.20 – Принципиальная схема отопления коттеджа с использованием теплового насоса типа вода-вода и грунтового теплообменника: 1 – компрессор; 2 – терморегулирующий вентиль; 3 – испаритель; 4 – конденсатор; 5 – циркуляционный насос системы отопления; 6 – отопительные приборы; 7 – циркуляционный насос промежуточного теплоносителя в грунтовом теплообменнике 8

При отдаче тепловой энергии пар охлаждается и снова переходит в жидкое состояние, но сохраняет при этом высокое давление. И также температура хладагента на этом этапе ещё недостаточна для нового цикла поглощения тепла из окружающей среды. Поэтому после теплообменника хладагент проходит через дроссельный вентиль, где понижается давление и падает температура. После этого хладагент идёт в наружный контур для прохождения повторного цикла.

Такие насосы в нашем климате все же не могут выступать единственным источником отопления. Поэтому они зачастую устанавливаются в связке с дополнительным отопительным оборудованием (рис. 6.21).

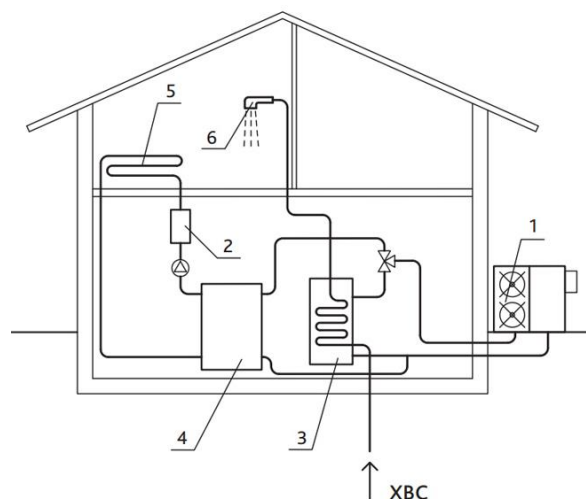


Рисунок 6.21 – Схема теплоснабжения дома с тепловым насосом: 1 – тепловой насос; 2 – электрический котел; 3 – накопительный бойлер с комбинированным нагревом воды; 4 – буферная емкость; 5 – напольное отопление; 6 – система горячего водоснабжения

Также они подходят для реконструкции и автоматизации старых котельных, использующие традиционные виды топлива. Это позволяет большую часть года эксплуатировать систему в автоматическом режиме (нет необходимости загружать твердое топливо или заправлять дизельное топливо), используя только мощность теплового насоса.

Причины, по которым все чаще предпочтение отдается автономным системам отопления, очевидны:

- децентрализация теплоснабжения является одним из наиболее эффективных методов экономии энергоресурсов и материальных средств;
- значительное снижение потерь тепла за счет максимального приближения источника тепла к потребителю;
- упрощается система учета потребления энергоресурсов, потребитель может влиять на количество потребляемой энергии, а, следовательно, и на ее оплату;
- полностью исключаются расходы на прокладку и обслуживание теплотрасс.

При использовании автономных систем становится возможным строительство жилых объектов в районах новой застройки и не обеспеченных развитой сетью теплотрасс, в микрорайонах и кварталах с хроническим недогревом (в зонах тупиковых теплотрасс).

Вариантами децентрализации теплоснабжения могут быть - встроенные, пристроенные, крышные или располагающиеся в непосредственной близости от здания автономные котельные, которые используются как для жилых домов, так и промышленных объектов.

В настоящее время получили большое распространение в системе ЖКХ – автономные блочные (блочно-модульные) транспортабельные котельные – в контейнерном исполнении. Использование этих установок не требует возведения отдельного здания или перестройки существующего. Размещенное в утепленных модулях оборудование не требует обустройства капитального фундамента. Сборка, проведенная в заводских условиях, гарантирует качество монтажных работ. Кроме того, это дает возможность использовать такие котельные для оперативного обеспечения теплоснабжения в условиях аварийных и чрезвычайных ситуаций в период отопительного сезона. Блочные котельные представляют собой полностью функционально законченное изделие, оснащены всеми необходимыми приборами автоматики и безопасности.

Уровень автоматизации обеспечивает бесперебойную работу всего оборудования без постоянного присутствия оператора. Автоматика отслеживает потребность объекта в тепле в зависимости от погодных условий и самостоятельно регулирует работу всех систем для обеспечения заданных режимов. Этим достигается более качественное соблюдение теплового графика и дополнительная экономия топлива. В случае

возникновения нештатных ситуаций, утечек газа, система безопасности автоматически прекращает подачу газа и предотвращает возможность аварий. Многие предприятия, сориентировавшиеся к сегодняшним условиям и просчитав экономическую выгоду, уходят от централизованного теплоснабжения, от отдалённых и энергоёмких котельных.

Поквартирное (автономное) теплоснабжение это – индивидуальное обеспечение отдельной квартиры в многоквартирном доме теплом и горячей водой использованием в качестве источника энергии природного газа. Основными элементами поквартирного отопления являются: Отопительный котел, система газоснабжения, отопительные приборы, системы подачи воздуха и дымоудаления. Поквартирное теплоснабжение имеет высокую энергетическую эффективность и, как следствие, экономию газа и значительные сокращения вредных выбросов в атмосферу. В каждой квартире устанавливается настенный (или напольный) двухконтурный газовый котел, обеспечивающий и отопление, и горячее водоснабжение. Как правило, для этой цели подходят котлы мощностью 15–24 кВт с герметичной топкой, где подвод воздуха для горения и отвод продуктов сгорания осуществляются газоплотными воздухопроводами, сообщаемыми с атмосферой и не связанными с воздушным пространством квартиры. В соответствии нормами для поквартирных систем теплоснабжения предусматривают использование полностью автоматизированных теплогенераторов с закрытой камерой сгорания, отводом продуктов сгорания в атмосферу и имеющих сертификат соответствия.

Отвод продуктов сгорания в атмосферу от дымоотводов теплогенераторов предусматривают:

- по обособленным вертикальным дымоходам;
- по общему вертикальному дымоходу с присоединением к нему с каждого этажа не более одного теплогенератора с закрытой камерой сгорания.

Наряду с преимуществами, поквартирное отопление имеет недостатки и основные из них: неотапливаемые чердаки и подвалы; затраты на приобретение оборудования или будущую его замену.

Теплоснабжение имеет большое социальное значение. Любые сбои в обеспечении населения и других потребителей теплом негативным образом воздействует на экономику страны и усиливают социальную напряженность. Внедрение любых ресурсосберегающих технологий будет оправдано. Блочно-модульные котельные и поквартирные системы теплоснабжения занимают достойное место в ряду таких технологий.

РАЗДЕЛ VII. Вопросы охраны труда при теплоснабжении

При проектировании и эксплуатации систем теплоснабжения актуальным является рассмотрение следующих вопросов по охране труда и технике безопасности:

- Основные законодательные акты и нормативные документы по охране труда.

- Оздоровление воздушной среды и нормализация параметров микроклимата.

- Производственное освещение.

- Безопасность эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды.

- Безопасность эксплуатации теплоэнергетических установок и оборудования.

- Требования охраны труда при проектировании промышленных и энергетических предприятий и объектов.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Для выполнения практических работ студентам выдаются индивидуальные исходные данные.

Работа № 1. Выбор климатических данных

Задание: в соответствии с **СНБ 2.04.02-200** для заданного географического пункта произвести выбор климатических данных:

- расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, t_o – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;
- расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, t_v – средняя температура наиболее холодного периода обеспеченностью 0,94;
- продолжительность отопительного периода, n_o , сут.;
- дата начала и окончания отопительного периода;
- средняя температура наружного воздуха за отопительный период t_{om} ;
- среднемесячные температуры наружного воздуха, $t_m^{мес}$ (табл. 1.1);
- средняя за год температура наружного воздуха $t_m^{год}$;
- средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций, n , час (табл. 1.2).

Таблица 1.1 – Средняя месячная температура воздуха $t_m^{мес}$, °С

Месяцы											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII

Таблица 1.2 – Средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций

Температура воздуха, °С	Средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций n , ч	
	СНБ	Расчет (кратно 4°С)
....		

Работа № 2. Определение расходов теплоты жилого квартала

Задание: для жилого квартала согласно **ТКП 45-4.02-182-2009** определить расчетные тепловые нагрузки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Теоретический материал – тема 2.3.

Выполнить расчет, результаты расчета свести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Расчетная расходы теплоты

Квартал	Этаж-ность	$F_{\text{кв}}$, га	P , м ² /га	A , м ²	m , чел	q_o , Вт/м ²	q_h , Вт/чел
...							

Окончание таблицы 2.1

Квартал	Расходы теплоты, кВт					
	$Q_{o\max}$	$Q_{v\max}$	Q_{hm}	$Q_{h\max}$	Q_{hm}^s	ΣQ^{\max}
...						
Итого						

Общая площадь жилых зданий, м², определяется как $A = F \cdot P$, где F – площадь квартала, га; P – плотность жилищного фонда, м²/га, принять в зависимости от этажности застройки:

- 1800 - этажность 1...2;
- 2600 - то же 3...4;
- 3200 - то же 5 и выше.

Количество жителей, чел, определяется как $m = A / N$, где N – норма общей площади на 1 человека, принять **18 м²/чел**.

Суммарный тепловой поток, Вт, определяют суммированием расчётных тепловых потоков на отопление, вентиляцию и средненедельного потока на ГВС:

$$\Sigma Q = Q_{o\max} + Q_{v\max} + Q_{hm}$$

Работа № 3. Определение годового расхода теплоты

Задание: определить годовой расход теплоты для каждого вида теплового потребления (отопления, вентиляции, ГВС) по суммарной величине тепловой нагрузки. Теоретический материал – тема 2.4.

Выполнить расчет, результаты расчета свести в таблицу 3.1.

Выполнить расчет расхода теплоты по отдельным месяцам года, результаты расчета свести в таблицу 3.2.

Таблица 3.1 – Расчет годового расхода теплоты

Показатели	Отопление		Вентиляция		ГВС	
Расчетные тепловые нагрузки, _Вт	$Q_{o\max}$		$Q_{v\max}$		Q_{hm}	
Средние за отопительный сезон тепловые нагрузки, _Вт	Q_{om}		Q_{vm}		Q_{hm}^s	
Годовые тепловые нагрузки, _Вт·ч	$Q_o^{\text{год}}$		$Q_v^{\text{год}}$		$Q_h^{\text{сез}}$	
					$Q_h^{\text{лет}}$	
					$Q_h^{\text{год}}$	
Суммарная годовая тепловая нагрузка, _Вт·ч	$\Sigma Q^{\text{год}}$					

Таблица 3.2 – Расчет теплового потребления по отдельным месяцам года

Месяцы	$t_m^{\text{мес}},$ °С	Число часов работы		\bar{q}	Расчетные расходы, _Вт			$\Sigma Q^{\text{мес}},$ _Вт·ч
		$n_o^{\text{мес}},$ $n_h^{\text{мес}}$	$n_v^{\text{мес}}$		$Q_{o\max}$	$Q_{v\max}$	Q_{hm}	
					Расходы теплоты за месяц, _Вт·ч			
					$Q_o^{\text{мес}}$	$Q_v^{\text{мес}}$	$Q_h^{\text{мес}}$	
....								
Годовой расход теплоты, _Вт·ч					$Q_o^{\text{год}}$	$Q_v^{\text{год}}$	$Q_h^{\text{год}}$	$\Sigma Q^{\text{год}}$

Сравнить значение годового расхода теплоты $\Sigma Q^{\text{год}}$, рассчитанное по формулам, со значением, полученным в ходе расчета таблицы 3.2. Определить погрешность вычислений ($\Delta \leq 3\%$).

По результатам таблицы 3.2 построить график годового расхода теплоты по месяцам года.

Работа № 4. Построение годовых графиков тепловой нагрузки

Задание: по расчетным расходам теплоты построить годовые графики тепловых нагрузок. Теоретический материал – тема 2.4.

Расчет тепловых нагрузок в выполнить интервале наружных температур от t_o до $+20^\circ\text{C}$ с шагом 4°C (кратно 4). При расчете использовать относительную тепловую нагрузку \bar{q} . Для примера выполнить расчет для наружных температур воздуха: $t_o, ^\circ\text{C}$; -8°C ; $+8^\circ\text{C}$.

Результаты расчета свести в таблицу 4.1, указать размерности величин.

Таблица 4.1 – Расчет построения годовых графиков тепловых нагрузок

$t_n, ^\circ\text{C}$	\bar{q}	Q_o	Q_v	Q_{hm}	Q_{hm}^s	ΣQ	$N, \text{ч}$
t_o							
...							
20							

По значениям таблицы 4.1 построить годовые графики тепловых нагрузок и нанести на них основные показатели теплового потребления, определив их предварительно.

Работа № 5. Выбор метода регулирования и схемы абонентского ввода в закрытых системах теплоснабжения

Задание: Выбрать метод регулирования тепловой нагрузки большинства потребителей жилого квартала. Выбрать схему присоединения абонентского ввода в закрытой системе теплоснабжения. Изучить и дать краткое характеристику выбранной схемы абонентского ввода – описание принципа отпуска теплоты в системы теплопотребления.

Теоретический материал – тема 3.4.

Работа № 6. Построение графиков температур сетевой воды

Задание: По заданному режиму работы тепловых сетей закрытых систем теплоснабжения построить графики температур.

Теоретический материал – тема 3.5.

Для примера выполнить расчет для наружных температур воздуха: $t_o, ^\circ\text{C}$; -8°C ; $+8^\circ\text{C}$. Результаты расчета свести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Расчет отопительно-бытового графика температур

$\tau, ^\circ\text{C}$	Температура наружного воздуха, $t_n, ^\circ\text{C}$									
	t_o	...	-20	-16	-12	-8	-4	0	+4	+8
τ_1										
τ_2										
Значения в точке излома	$t'_n \approx \dots ^\circ\text{C}$		$\tau'_1 = \dots ^\circ\text{C}$			$\tau'_2 = \dots ^\circ\text{C}$			$\tau'_3 = \dots ^\circ\text{C}$	

По результатам табл. 6.1 построить график температур. Нанести точку излома. Отметить режимы регулирования тепловой нагрузки в различных диапазонах температур наружного воздуха.

Работа № 7. Определение расчетных температур теплоносителя

Задание: расчетным путем определить среднюю за год и за отопительный период температуру теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе закрытой системы теплоснабжения. Теоретический материал – тема 3.5.

Для примера выполнить расчет для месяцев января и июля. Результаты расчета свести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Расчетные температуры теплоносителя

Месяц	n_i , час	Средне- месячная температура воздуха $\tau_{в}^{ср.м}$, °С	Температура теплоносителя по графику температур с учетом $t_{н}^{изл} = \dots$ °С	
			τ_1 , °С	τ_2 , °С
Январь				
....				
Средняя за год				
Средняя за отопительный период				

Работа № 8. Определение расчетного расхода теплоносителя

Задание: согласно ТКП 45-4.02-182-2009 определить расчетный расход теплоносителя на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и суммарный. Теоретический материал – тема 4.2.

Выполнить расчет и результаты расчета свести в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Расчетные расходы сетевой воды, кг/ч

Квартал	$G_{o \max}$	$G_{v \max}$	$G_{h \text{ м}}$	$G_{h \max}$	G_d	G_d^s
...						
Всего						

Работа № 9. Определение диаметра трубопроводов и потерь давления на участках тепловой сети

Задание: выполнить гидравлический расчет тепловой сети заданной схемы с исходными данными. Теоретический материал – тема 4.2.

Для заданных расходов сетевой воды у потребителей и длин участков тепловой сети определить диаметры трубопроводов и потери давления на всех участках тепловой сети. Определить невязку потерь давления на участках трубопровода ответвления и основной магистрали. Сделать выводы об устранении невязки потерь давления.

Выполнить расчет, результаты расчета оформить в виде таблицы 9.1, указать размерности величин.

Таблица 9.1– Гидравлический расчет водяной тепловой сети

Но- мер уч.	G_d	D_y	D_i	R	ω	L	a_1	L_e	L'	ΔP	ΔH	$\Sigma \Delta P$	$\Sigma \Delta H$
Основная магистраль													
...													
Ответвление от магистрали $\Delta H_{расп} = \dots\dots\dots$ Невязка $H_{нев} = \dots\dots\dots$													
....													

Определить параметры (напор и производительность) для выбора сетевых насосов водяной тепловой сети закрытой системы теплоснабжения.

Работа № 10. Тепловой расчет тепловых сетей, проложенных бесканально

Задание: с учетом результатов, полученных в предыдущих работах, выполнить тепловой расчет двухтрубной тепловой сети, проложенной бесканально. Схема теплоизоляционной конструкции приведена на рис. 10.1 и 10.2. Теоретический материал – тема 4.4.

Типоразмеры ПИ-труб, соответствующие СТБ 2252-2012, выбрать из каталога продукции ООО «БЕЛЕВРОТРУБПЛАСТ».

Выполнить расчет, результаты расчета оформить в виде таблицы 10.1, указать размерности величин.

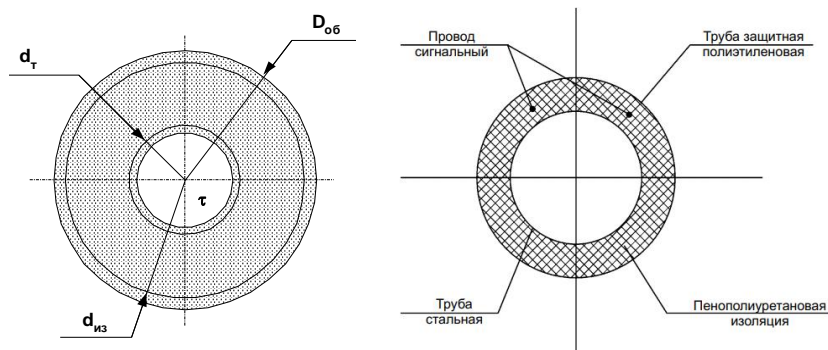


Рисунок 10.1 – Конструкция и геометрические параметры ПИ-трубы: наружный диаметр стальной трубы d_{τ} ; наружный диаметр теплоизоляционного слоя $d_{из}$; наружный диаметр полиэтиленовой трубы-оболочки $D_{об}$

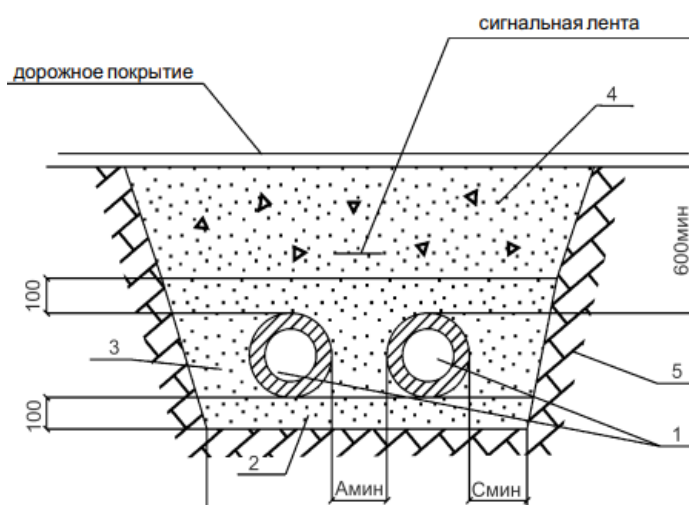


Рисунок 10.2 – Расположение труб в траншее: 1 – ПИ-труба; 2, 3 – подсыпка и засыпка песком; 4 – засыпка грунтом; 5 – основной грунт; $A_{мин}$ – расстояние в свету между оболочками теплоизоляции труб

Таблица 10.1 – Тепловой расчет трубопроводов

D_y	$d_{тр}$	$D_{об}$	$S_{об}$	$d_{из}$	h_o	$A_{1:2}$	L
...							

Окончание таблицы 10.1 $м \cdot ^\circ C / Вт$

D_y	$R_{из}$	$R_{об}$	$R_{гр}$	R	R_0	$\sum q^{ПИ}$	$\sum q_n^{ПИ}$	$\eta_{из}$	$\sum \varrho_{пот}^{III}$
...									
Суммарные потери тепловой сети $\sum \varrho_{пот}^{III}$, кВт									

Обозначения в таблице: D_y – диаметр условный; $d_{тр}$ – наружный диаметр стальной трубы; $D_{об}$ – наружный диаметр трубы-оболочки; $S_{об}$ – толщина трубы-оболочки ПЭ; $d_{из}$ – наружный диаметр теплоизоляционного слоя ППУ, $d_{из} = D_{об} - 2 \cdot S_{об}$.

Работа № 11. Выбор основного оборудования ТЭЦ

Задание: по заданным исходным данным выбрать основное оборудование ТЭЦ: турбину, парогенератор, пиковый водогрейный котел. Теоретический материал – тема 6.3.

Работа № 12. Описание принципиальной схемы отпуска тепловой энергии от паротурбинной установки

Задание: в зависимости от типа выбранной паротурбинной установки составить принципиальную схему отпуска тепловой энергии от ТЭЦ. Дать краткое ее описание. Расшифровать маркировки выбранного оборудования, привести значения его основных параметров.

Теоретический материал – тема 6.3.

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Экзаменационные вопросы

1. Тепловая энергия: единицы измерения, основные направления использования.
2. Системы теплоснабжения: основные элементы, признаки классификации. Основные виды теплоносителей, их параметры.
3. Сезоны года и их характеристика. Выбор климатических данных города по ТНПА и использование их в расчетах.
4. Тепловой комфорт. Микроклимат помещения. Основные параметры.
5. Тепловое потребление и его виды. Назначение систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.
6. Понятие «тепловая нагрузка», единицы измерения. Определение расчетных тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение по ТНПА. Относительная тепловая нагрузка.
7. Определение годовых расходов теплоты. Определение расходов теплоты за месяц.
8. Годовые графики тепловых нагрузок. Назначение. Исходные данные и методика построения.
9. Принципиальные схемы присоединения местных систем к двухтрубным водяным тепловым сетям *закрытых* и *открытых* систем теплоснабжения. Зависимое и независимое присоединение абонентов к тепловым сетям.
10. Регулирование тепловой нагрузки. Основные виды регулирования. Методы и способы регулирования. Выбор метода регулирования тепловой нагрузки.
11. Графики температур сетевой воды. Назначение. Исходные данные и методика построения. Виды графиков температур. Диапазоны регулирования тепловой нагрузки.
12. Тепловые пункты и их основное оборудование.
13. Одноступенчатая схема абонентского ввода *закрытых* систем теплоснабжения с *нормальной* подачей теплоты в систему отопления. Параметры выбора и принцип работы.
14. Двухступенчатая схема абонентского ввода *закрытых* систем теплоснабжения с *нормальной* подачей теплоты в систему отопления. Параметры выбора и принцип работы.
15. Двухступенчатая схема абонентского ввода *закрытых* систем теплоснабжения со *связанной* подачей теплоты в систему отопления. Параметры выбора и принцип работы.

16. Схемы абонентского ввода *открытых* систем теплоснабжения с *нормальной* и *связанной* подачей теплоты в систему отопления. Параметры выбора и принцип работы.

17. Тепловые сети: назначение и классификация. Схемы тепловых сетей.

18. Основные элементы и конструкции тепловых сетей. Виды прокладки тепловых сетей, области применения, достоинства и недостатки.

19. Определение расчетных расходов сетевой воды в водяных тепловых сетях по ТНПА.

20. Гидравлический расчет водяных тепловых сетей. Назначение. Методика (основная магистраль, ответвления). Основные расчетные формулы. Использование ТНПА. Определение располагаемых потерь давления.

21. Тепловая изоляция трубопроводов: назначение, виды, характеристики.

22. Тепловой расчет водяных тепловых сетей. Назначение. Методика.

23. Тепловой расчет надземной прокладки трубопроводов. Основные расчетные формулы по ТНПА.

24. Методы и способы производства тепловой энергии. Основные схемы производства тепловой энергии.

25. Источники теплоснабжения. ТЭС. ТЭЦ. ГТУ. Децентрализованное теплоснабжение.

26. Схемы отпуска тепловой энергии от ТЭЦ. Основное оборудование ТЭЦ и его выбор.

Основные практические навыки на экзамене

1. Выбор климатических данных.

2. Определение расчетных и текущих тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Относительная тепловая нагрузка.

3. Определение расхода теплоты за месяц и годового на отопление, вентиляцию и ГВС.

4. Построение годовых графиков тепловых нагрузок жилого района.

5. Построение графиков температур.

6. Выбор метода регулирования тепловой нагрузки при ЦКР.

7. Выбор и описание схемы абонентского ввода.

8. Определение расхода сетевой воды.

9. Гидравлический тепловой сети – определение диаметров трубопроводов и потерь давления/напора на по длине (на участках) по нормативным удельным потерям давления.

10. Тепловой расчет надземной прокладки трубопроводов тепловой сети.

11. Выбор основного оборудования ТЭЦ.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Содержание учебного материала

Раздел I. Введение

Тема 1.1. Тепловая энергия и ее значение

Понятие об энергетике страны и ее составляющих. Энергетические ресурсы. Энергетический баланс и топливно-энергетический комплекс Республики Беларусь.

Раздел II. Потребление тепловой энергии

Тема 2.1. Тепловое потребление

Направления использования тепловой энергии. Теплоносители в системах теплоснабжения. Виды теплового потребления в системах теплоснабжения. Классификация тепловых потребителей. Технологическое теплоснабжение.

Тема 2.2. Коммунально-бытовые тепловые потребители

Характеристика систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и горячего водоснабжения, их классификация и основные элементы оборудования, параметры теплоносителей.

Тема 2.3. Определение коммунально-бытовых тепловых нагрузок

Методы определения тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Расчет тепловых нагрузок по укрупненным показателям.

Тема 2.4. Годовой расход теплоты

Определение годового расхода теплоты. Построение годовых графиков тепловой нагрузки. График часового расхода теплоты. График продолжительности тепловой нагрузки. Основные показатели теплового потребления.

Раздел III. Системы теплоснабжения

Тема 3.1. Системы теплоснабжения

Основные элементы и классификация систем теплоснабжения. Теплоносители. Системы централизованного теплоснабжения; их структура и особенности.

Тема 3.2. Тепловые пункты

Назначение тепловых пунктов, их классификация. Индивидуальные тепловые пункты. Центральные тепловые пункты. Оборудование тепловых пунктов, его назначение и принцип действия.

Тема 3.3. Схемы абонентских вводов

Водяные системы теплоснабжения и их классификация. Схемы присоединения абонентов, преимущества и недостатки. Схемы абонентских вводов с нормальной и связанной подачей теплоты в системы отопления и ГВС. Паровые системы теплоснабжения и их классификация. Схемы присоединения абонентов. Схемы сбора и возврата конденсата от промышленных потребителей.

Тема 3.4. Регулирование отпуска теплоты

Понятие и задачи регулирования. Виды регулирования однородной и разнородной тепловой нагрузки. Методы регулирования тепловой нагрузки в системах централизованного теплоснабжения. Общее уравнение регулирования. Выбор метода регулирования.

Тема 3.5. Температурные графики

Построение температурных графиков и методы корректировки. Отопительный и отопительно-бытовой графики температур сетевой воды. Точка излома. Диапазоны регулирования тепловой нагрузки.

Раздел IV. Транспорт тепловой энергии

Тема 4.1. Устройство тепловых сетей

Назначение тепловых сетей. Основные элементы и конструкции тепловых сетей. Способы прокладки теплопроводов, их преимущества и недостатки. Компенсация температурных напряжений в трубопроводах. Основные типы компенсаторов. Эксплуатация тепловых сетей, проблемы и пути их решения.

Тема 4.2. Гидравлический расчет теплопроводов

Гидравлический расчет, его задачи и методика. Определение расчетных расходов теплоносителя в тепловых сетях. Определение диаметров теплопроводов разветвленной водяной тепловой сети. Выбор насосов систем теплоснабжения.

Тема 4.3. Тепловая изоляция теплопроводов

Потери теплоты теплопроводами. Теплоизоляционные материалы и конструкции, применяемые в тепловых сетях.

Тема 4.4. Тепловой расчет теплопроводов

Задачи теплового расчета. Методика теплового расчета теплопроводов водяных сетей при различных способах их прокладки. Определение толщины и эффективности тепловой изоляции, тепловых потерь и снижения температуры теплоносителя по длине тепловых сетей.

Раздел V. Производство тепловой энергии

Тема 5.1. Производство тепловой энергии из органического топлива

Способы производства тепловой энергии. Теплоэнергетические установки. Принципиальные схемы получения тепловой энергии из органического топлива. Котельные установки, основные элементы и источники энергии.

Тема 5.2. Производство тепловой энергии из ядерного горючего

Принципы получения ядерной энергии. Ядерные реакторы. Принципиальные схемы АЭС. Проблемы атомной энергетики.

Тема 5.3. Производство тепловой энергии за счет ВИЭ

Принципиальные схемы получения тепловой энергии за счет солнечной энергии и геотермальных вод.

Тема 5.4. Производство тепловой энергии из отходов

Принципиальная схема переработки сельскохозяйственных отходов в биогаз. Принципиальная схема энергетического использования городских бытовых отходов.

Раздел VI. Источники теплоснабжения

Тема 6.1. Источники теплоты в системах централизованного теплоснабжения

Котельные и их классификация. Районные котельные. Промышленные котельные. Основные схемы, режимы работы, оборудование.

Тема 6.2. Тепловые электрические станции

Электростанции и их классификация. Тепловые электрические станции. Принципиальная схема паротурбинной ТЭС. Классификация паровых турбин, основные типы, характеристики и маркировка.

Тема 6.3. Совместная выработка тепловой и электрической энергии

ТЭС. Основные схемы отпуски тепловой энергии от ТЭС. Коэффициент теплофикации. Выбор основного оборудования промышленной ТЭС. Основные и пиковые подогреватели. Выбор сетевых подогревателей.

Тема 6.4. Газотурбинные установки

Газотурбинные (ГТУ) и парогазовые установки (ПГУ). Регенерация теплоты. Особенности теплоподготовительных установок ГТУ и ПГУ. Когенерационные технологии и их характеристика. Мини-электростанции.

Тема 6.5. Децентрализованное теплоснабжение

Характеристика и системы децентрализованного теплоснабжения. Котельное оборудование для автономных систем теплоснабжения. Блочно-модульные котельные. Крышные котельные. Отопление на базе инфракрасного излучения. Использование тепловых насосов для теплоснабжения жилья и промышленных предприятий.

РАЗДЕЛ VII. Вопросы охраны труда при теплоснабжении

Основные законодательные акты и нормативные документы по охране труда. Оздоровление воздушной среды и нормализация параметров микроклимата. Производственное освещение. Безопасность эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды. Безопасность эксплуатации теплоэнергетических установок и оборудования. Требования охраны труда при проектировании промышленных и энергетических предприятий и объектов.

Требования к курсовому проекту

Целью курсового проекта является практическое применение теоретических знаний для решения комплекса типовых инженерных задач системы централизованного теплоснабжения.

Примерный объем курсового проекта до 40 страниц пояснительной записки, 3 листа формата А3 графической части.

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Герасимова, А. Г. Общая энергетика, теплоэнергетические процессы, установки и оборудование: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-43 01 01 "Электрические станции", 1-43 01 02 "Электрические системы и сети", 1-43 01 03 "Электроснабжение" / А. Г. Герасимова, Н. В. Пантелей, В. А. Романко; кол. авт. Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции". – Минск : БНТУ, 2018. – 81,[1] с.: схемы, табл. – Режим доступа : <https://rep.bntu.by/handle/data/48114>
2. Теплоснабжение и тепловые сети [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальности: 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами" / кол. авт.

Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции"; сост. Л. А. Тарасевич. – Электрон. дан. – Минск : БНТУ, 2017. – 1 электрон. опт. диск (DVD-RW). – Режим доступа : <http://rep.bntu.by/handle/data/31836>

3. Копко, В. М. Теплоснабжение: [учебник для студентов, обучающихся по направлению 270100 "Строительство" для специальности 1-70 04 02 "Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна" / В. М. Копко. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство АСВ, 2017. – 339 с.

4. Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению курсового проекта для студентов специальности 1-43 01 05 "Промышленная теплоэнергетика" / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника"; сост.: В. И. Чернышевич, Т. А. Петровская. – Электрон. дан. – Минск : БНТУ, 2019. – 1 электрон. опт. диск (DVD-R). – Режим доступа : <https://rep.bntu.by/handle/data/49748>

Дополнительная литература

5. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7-е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.: ил.

6. Теплоснабжение: Учеб. для вузов /А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов и др.: Под ред. А.А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

7. Теплоснабжение: Учеб. пособие для вузов. /В.Е. Козин, Т.А. Левина и др. – М.: Высш. шк., 1980. – 408 с.

8. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию /И.В. Беляйкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов и др.; Под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.

9. Изменение №1 СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология.

10. СН 4.02.01-2019 Тепловые сети.

11. ТКП 642-2019 Порядок расчета величины технологического расхода тепловой энергии на ее передачу в сетях теплоснабжения с учетом их износа, срока и условий эксплуатации.

12. ТКП 45-4.02-129-2009 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Правила расчета.

13. Производство, транспорт и потребление тепловой энергии: методические указания к курсовому проекту «Теплоснабжение жилого района» для студентов специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент»/И.В. Янцевич, С.В. Климович. – Минск: БГАТУ, 2011. – 55 с.