

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет Энергетический

Кафедра Тепловые электрические станции

СОГЛАСОВАНО
Заведующий кафедрой

_____ Н.Б. Карницкий

— _____ 2017 г.

СОГЛАСОВАНО
Декан

_____ К.В. Доброго

— _____ 2017 г.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УЧЕБНОЙ
ДИСЦИПЛИНЕ

Автоматизация систем теплоснабжения

(название учебной дисциплины)

для специальности 1-53 01 04 «Автоматизация и управление

теплоэнергетическими процессами»

(код и наименование специальности (направления специальности, специализации))

Составители: доц. Кравченко В.В., ассист. Павловская А.А.

Рассмотрено и утверждено

на заседании Совета энергетического факультета «25» _____ мая _____ 2017 г.,

протокол № _____ 9 _____

ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ

1. Теоретический раздел:

- «Автоматизация систем теплоснабжения» – курс лекций;

2. Практический раздел:

- «Автоматизация систем теплоснабжения» – практические задания;

3. Контроль знаний:

- «Автоматизация систем теплоснабжения» – перечень вопросов, выносимых на экзамен;

4. Вспомогательный раздел:

- «Автоматизация систем теплоснабжения» – учебная программа для учреждения высшего образования.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Целью разработанного электронного учебно-методического комплекса «Автоматизация систем теплоснабжения» является приобретение студентами теоретических знаний для расчета, проектирования и эксплуатации автоматизированных систем теплоснабжения, отопления, вентиляции.

Основной задачей дисциплины является подготовка студентов к будущей практической деятельности, связанной с проектированием и эксплуатацией средств автоматизации систем теплоснабжения.

Полученные при изучении данного электронного учебно-методического комплекса знания предназначены для использования при дипломном проектировании и практической работе в области промышленной теплоэнергетики.

Особенности структурирования и подачи учебного материала:

- теоретическая часть включает в себя курс лекций по дисциплине «Автоматизация систем теплоснабжения» и содержит 26 тем по 9 разделам учебной программы для специальности 1-53 01 04 «Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами»;

- практическая часть состоит из перечней тем практических занятий, лабораторных и курсовых работ по дисциплине «Автоматизация систем теплоснабжения»;

- раздел контроля знаний содержит вопросы к экзамену;

- вспомогательный раздел содержит учебную программу по дисциплине «Автоматизация систем теплоснабжения».

Рекомендации по организации работы с ЭУМК: Компьютерный файл не требует особых пояснений по эксплуатации. Для просмотра документов требуется установленные программы просмотра pdf- и djvu-файлов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Курс лекций.....	5
1.1 Характеристика системы централизованной системы ТС как объекта управления.....	5
1.2 Задачи, решаемые АСУ ТП теплоснабжения: задачи автоматизации	8
1.3 Регулируемые параметры в отапливаемом помещении.....	9
1.4 Микроклимат в жилых и производственных помещениях.....	11
1.5 Параметры регулирования горячего водоснабжения	13
1.6 Регулируемые параметры для систем теплоснабжения	16
1.7 Внешние и внутренние возмущающие воздействия.....	18
1.8 Влияние горячего водоснабжения на режим работы систем теплоснабжения	23
1.9 Классификация управляющих воздействий	25
1.10 Уравнение нестационарного теплообмена объектов систем теплоснабжения	26
1.11 Динамические характеристики здания.....	31
1.12 Динамические характеристики систем отопления.....	33
1.13 Термодинамические характеристики теплообменных аппаратов и котельных установок.....	38
1.14 Динамические характеристики систем кондиционирования воздуха и вентиляции	42
1.15 Статические характеристики насосов, вентиляторов, регулирующих органов.....	47
1.16 Способы организации регулирования расхода теплоты	53
1.17 Автоматизация теплоподготовительных установок ТЭЦ и котельных... ..	63
1.18 Автоматизация насосных подстанций.....	68
1.19 Автоматизация узлов горячего водоснабжения	70
1.20 Автоматизация водяных систем отопления.....	72
1.21 Схемы автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление	75
1.22 Автоматизация приточных камер.....	78
1.23 Автоматизация систем кондиционирования воздуха	85
1.24 Защита воздухонагревателей от замерзания.....	87
1.25 Состав и содержание проекта.....	89
1.26 Функциональная схема автоматического контроля систем теплоснабжения	91
2 Практические задания.....	98
2.1 Примерный перечень тем практических занятий по дисциплине «Автоматизация систем теплоснабжения»	98
2.2 Примерный перечень тем лабораторных работ по дисциплине «Автоматизация систем теплоснабжения»	98
2.3 Примерный перечень тем курсовых работ по дисциплине «Автоматизация систем теплоснабжения»	98
3 Перечень вопросов к экзамену.....	101
4 Учебная программа	105

Электронный учебно-методический комплекс

Теоретический раздел

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Курс лекций

Минск 2017 г.

1 КУРС ЛЕКЦИЙ

1.1 Характеристика системы централизованной системы ТС как объекта управления

Система централизованного теплоснабжения (СЦТ), как известно представляет собой комплекс различных сооружений, установок и устройств, технологически связанных между собой в общем процессе производства, транспорта, распределения и потребления энергии.

СЦТ включает источники теплоты (ТЭЦ, АТЭЦ, котельные, АСТ) магистральные и распределительные тепловые сети, узлы управления транспортом и распределением теплоты (насосные перекачивающие подстанции, контрольно-распределительные тепловые пункты), узлы присоединения теплопотребляющих абонентских установок к тепловой сети (центральные и индивидуальные тепловые пункты), теплопотребляющие установки и системы (системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, горячего водоснабжения, теплопотребляющие установки промышленных предприятий) [3].

Режим работы СЦТ диктуется условиями функционирования объектов теплопотребления: переменными потерями теплоты в окружающую среду через ограждающие конструкции зданий и сооружений, режимами потребления горячей воды населением, условиями работы технологического оборудования и др.

Анализ системы централизованного теплоснабжения как объекта управления показывает, что она обладает основными свойствами, присущими большим системам энергетики.

Необходимо отметить сложность и иерархический характер ее структуры, влияние многочисленных случайных факторов на режим работы.

Система состоит из большого числа взаимосвязанных последовательно и параллельно включенных элементов, обладающих различными теплогидравлическими свойствами: участки трубопроводов тепловой сети и систем отопления, теплоемкие и нетеплоемкие наружные ограждения зданий, теплообменные аппараты в тепловых пунктах, нагревательные приборы в отапливаемых помещениях и др.

Следует указать на значительное разнообразие конструкций этих элементов и широкий диапазон режимов их работы.

Динамические свойства системы теплоснабжения характеризуются большими временными (емкостными и транспортными) запаздываниями по каналам как передачи возмущений, так и управляющих воздействий. Инерционные свойства отдельных параллельно расположенных звеньев существенно разнятся. Так, при прохождении температурной волны через теплоемкие ограждения (стены) наблюдается ее значительное затухание, и сдвиг фазы. Оконные же ограждения

являются практически безынерционными, и тепловые потери через них меняются синхронно с изменением внешних воздействий.

В связи с этим при управлении системой теплоснабжения приходится учитывать не только состояние внешней среды в данный момент времени, но и метеорологические условия за предыдущий период, а также их возможные изменения в будущем (прогнозирование размера теплопотребления).

Следует также указать, что процесс управления режимами работы СЦТ характеризуется вмешательством человека на различных уровнях иерархии ее структуры: от главного диспетчера энергосистемы до непосредственного потребителя теплоты в отапливаемых помещениях.

Помимо внутренних взаимосвязей между элементами СЦТ, нельзя не учитывать ее внешние функциональные связи с другими системами инженерного обеспечения городов и промышленных комплексов (рисунок 1.1.1).

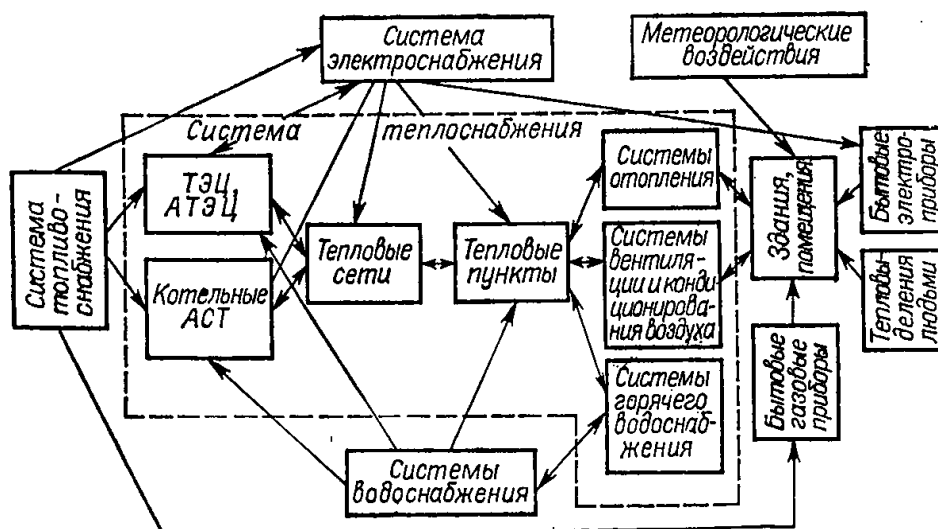


Рисунок 1.1.1 – Схема функциональных связей системы теплоснабжения с другими системами инженерного обеспечения городов

Характерным для рассматриваемых систем является то, что указанные внешние связи проявляются на всех этапах процесса производство – потребление тепловой энергии.

Так, режим работы теплового источника не может рассматриваться изолированно от условий функционирования системы топливоснабжения. Управление отпуском теплоты от теплоэлектроцентралей должно учитывать режим электроэнергетической системы (установлена целесообразность использования ТЭЦ в маневренном режиме.)

Работа бытовых газовых и электрических приборов влияет на температурный режим отапливаемых помещений и, следовательно, на работу абонентских систем отопления. Тесно взаимоувязаны режимы работы систем горячего и холодного водоснабжения.

Важной особенностью системы централизованного теплоснабжения как объекта управления является ее стохастичность. Изменение внешних и внутренних возмущающих воздействий в СЦТ носит случайный характер.

Статические и динамические характеристики элементов систем теплоснабжения не остаются в процессе эксплуатации постоянными, а закон их изменения является стохастическим. Для иллюстрации в таблице 1.1.1 приведены данные о факторах, вызывающих изменения гидравлических и теплотехнических характеристик некоторых элементов СЦТ.

Необходимо также иметь в виду, что в отличие от других трубопроводных систем (водоснабжения, газо- и нефтеснабжения) режим функционирования тепловых сетей характеризуется двумя различными по своей сущности параметрами: количество отпускаемой тепловой энергии определяется температурой теплоносителя и перепадом давлений, а, следовательно, расходом воды в тепловой сети.

Таблица 1.1.1. Данные об эксплуатационных изменениях тепловых и гидравлических характеристик некоторых элементов систем централизованного теплоснабжения

Элементы	Характеристика процесса	Факторы, обуславливающие изменение характеристик
Наружные ограждения зданий	Тепловые потери в окружающую среду	Эксплуатационные изменения теплопроводности и воздухопроницаемости материала конструкций. Уплотнение или разгерметизация оконных проемов. Загрязнение поверхностей остекления.
Отапливаемое помещение, здание	Аккумуляция тепла (инерционность)	Изменение количества и состава оборудования и предметов, находящихся в помещении (здании)
Участок трубопровода тепловой сети	Гидравлическое сопротивление Тепловые потери в окружающую среду Транспортное запаздывание	Коррозионные отложения Повреждения и увлажнения теплоизоляции, изменение влажности грунта Изменение расхода теплоносителя по участку
Поверхностный теплообменник	Гидравлическое сопротивление Интенсивность теплообмена	Коррозионные отложения, накипь Коррозионные отложения, образование накипи, изменение расхода теплоносителя

1.2 Задачи, решаемые АСУ ТП теплоснабжения: задачи автоматизации

Многообразие условий теплоснабжения обуславливает неоднозначность принципиальных решений, используемых при выборе методов, уровней и технических средств автоматизации. Их выбор зависит от назначения отапливаемых зданий и сооружений, характера теплоснабжающей системы, природно-климатических, социальных и других факторов.

Вместе с тем анализ отечественного и зарубежного опыта позволяет составить представление о путях научно-технического прогресса в рассматриваемой области и сформулировать требования, предъявленные к современным автоматизированным системам теплоснабжения [3].

Режимы отпуска тепловой энергии в этих системах должны быть маневренными и гибкими, учитывать многообразие возмущающих воздействий на функционирование системы и специфические условия температурного режима отдельных потребителей, рационально использовать динамические свойства составляющих ее звеньев, основываться на рациональном сочетании нескольких ступеней управления (на источнике, в тепловых сетях и в абонентских установках, см. таблицу 1.2.1), обеспечивать возможность программного изменения температуры воздуха в зданиях, предусматривать параллельную работу нескольких источников на общие тепловые сети и участие теплоэлектроцентралей в прохождении пиков (провалов) электрической нагрузки.

При этом затраты на производство и распределение тепловой энергии, с учетом взаимосвязей между источниками теплоты и электроэнергетической системой, а также между различными системами инженерного обеспечения населенных мест, промышленных узлов, отдельных зданий, должны быть минимальными.

Таблица 1.2.1. Ступени автоматического управления в системах централизованного теплоснабжения

Ступени	Ступени управления	Место осуществления управления	Объект управления
I	Центральное	Котельная, ТЭЦ	Система теплоснабжения, магистральные тепловые сети
II	Районное	Контрольно-распределительный пункт (КРП)	Район теплоснабжения, распределительные тепловые сети микрорайона
III	Групповое	Центральный тепловой пункт (ЦТП)	Теплоснабжение группы зданий, внутриквартальные тепловые сети
IV	Местное	Индивидуальный тепловой пункт (ИТП)	Система теплоснабжения одного здания или блок-секции здания
V	Позонное (пофасадное)	Индивидуальный тепловой пункт (ИТП)	Отдельные ветви систем отопления и вентиляции, отдельные зоны здания
VI	Индивидуальное	Нагревательный прибор в отапливаемом помещении	Отдельное отапливаемое помещение

1.3 Регулируемые параметры в отапливаемом помещении

Климат внутренней среды, определяемый сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также окружающих поверхностей, принято называть микроклиматом помещений, а поддержание определенных, наперед заданных метеорологических условий в закрытых помещениях – основной задачей отопительно-вентиляционных систем [3].

Температурные условия и показатели воздушной среды (регулируемые метеопараметры) закрытых помещений определяются функциональным назначением помещений, временем года и суток, внешней метеорологической обстановкой, возможностями отопительно-вентиляционных и теплоснабжающих систем. В зависимости от перечисленных условий метеопараметры можно классифицировать как оптимальные, допустимые и необходимые.

Оптимальными метеопараметрами помещений принято считать условия окружающей среды, обеспечивающие наилучшее самочувствие и работоспособность человека, наибольшую продуктивность животноводческих комплексов, наиболее качественное протекание технологических процессов в производственных зданиях, максимальную урожайность в культивационных сооружениях, сохранность конструкций зданий, сооружений, материалов, оборудования, готовой продукции и др.

Допустимыми метеопараметрами считаются условия, при которых возникают незначительная напряженность системы терморегуляции организма человека, несущественные изменения продуктивности или урожайности в сельском хозяйстве, в количестве и качестве продукции в системе производства и хранения.

Необходимые метеопараметры определяются задачами функционирования, состоянием отопительно-вентиляционных и теплоснабжающих систем, ограждающих конструкций и могут назначаться исходя из условий экономии топливно-энергетических ресурсов, предотвращения (в аварийных ситуациях или в неосновной период функционирования.) замерзания теплоносителя в системах, снижения ущерба, гибели животных, разрушения конструкций зданий и др.

Установление и выбор в отапливаемых помещениях оптимальных, допустимых или необходимых метеопараметров зависят от многих факторов. Естественно, что оптимальные значения обеспечивают наилучшие условия в помещениях. Однако требования минимизации общих затрат, расходов тепловой и электрической энергии определяют необходимость поддержания во многих случаях допустимых, а в экстремальных условиях – необходимых метеопараметров.

Следует отметить, что оптимальные и допустимые значения параметров не являются для многих типов зданий- постоянными в течение суток. Так, в периоды сна или отсутствия людей в помещениях целесообразно устанавливать пониженные значения температур (программное снижение на определенное время).

Особую область задач управления микроклиматом помещений составляют аварийные режимы, связанные с отоплением зданий при дефиците топлива, нарушениях подачи теплоносителя и др. Здесь метеопараметры или их сочетания могут изменяться в значительных пределах.

Рассматривая вопросы управления микроклиматом, из комплекса метеопараметров следует выделить наиболее важные, поддающиеся прямому или косвенному регулированию: температура и скорость движения воздуха в помещении, его относительная влажность, температура окружающих поверхностей. Основными регулируемыми параметрами для систем отопления являются: температура внешнего воздуха в помещении и средняя температура поверхностей, обращенных в помещение.

Подвижность и влажность воздуха как регулируемые параметры чаще рассматриваются в системах вентиляции и кондиционирования воздуха

Температура воздуха в помещении подразделяется на локальную, среднюю по всему помещению, средневзвешенную для здания в целом или его части. Чаще всего

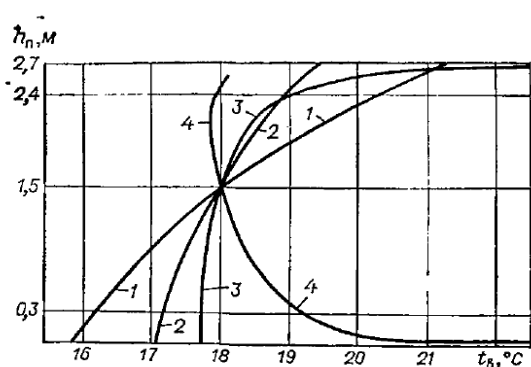


Рисунок 1.3.1 – Изменение температуры воздуха по высоте помещения при отоплении:

1 — воздушном; 2, 3, 4 — водяном с нагревательными приборами соответственно подоконными (радиатор), потолочными, напольными (панели)

температура воздуха в помещении контролируется (обеспечивается) в части объема помещения, называемой рабочей или обслуживаемой зоной. Например, для жилых помещений эта зона определяется пространством высотой до 2 м (до 1,5 м для сидячих людей) над уровнем пола.

Характер изменения температуры воздуха по высоте помещения при различных видах отопления представлен на рисунке 1.3.1. Изменение температуры воздуха по высоте и ширине помещений характеризует равномерность нагрева, от которой зависит тепловой комфорт и теплопотери помещения.

При определении средней температуры в помещениях, выборе числа и места размещения термометров следует учитывать характер указанных неравномерностей.

В связи с тем, что помещения в здании, в соответствии с назначением и за счет некоторой разрегулировки системы отопления, могут иметь различную температуру, используется понятие средневзвешенной (усредненной) температуры внутреннего воздуха здания в целом или его части:

$$\bar{t}_B = \frac{\sum t_{Bj} V_j}{\sum V_j};$$

где t_{Bj} — средняя температура воздуха в j -м помещении; V_j — объем j -го помещения.

Более полная характеристика микроклимата помещения возможна с помощью комплексного метеопараметра, зависящего от относительной влажности, скорости движения воздуха, средневзвешенной температуры поверхностей и называемого результирующей температурой t_{rp} .

Для определения t_{rp} используются различные расчетные выражения и графики. Такой подход важен в связи с тем, что в последнее время наблюдается определенная тенденция по созданию переменных метеопараметров помещений, обусловленная следующими причинами:

снижением температуры внутреннего воздуха в ночное время для жилых помещений и в нерабочее – для административных зданий, что сокращает расход топлива на отопление;

периодическими изменяющимися температурными воздействиями, соответствующими естественным условиям человеческого организма, что тренирует и укрепляет его, делает более устойчивым к различного рода заболеваниям и улучшает самочувствие;

более точными переменными параметрами микроклимата, что приводит к повышению урожайности в культивационных сооружениях, продуктивности животных, удовлетворяет требованиям некоторых технологических процессов и условиям снижения расхода теплоты;

переменными нормативами (более широкий возможный диапазон изменений), что позволяет упростить регулирование.

В настоящее время практически нет нормируемых переменных величин микроклимата. В связи с этим их значения чаще всего характеризуются отклонением от постоянных (нормируемых) параметров (Δt_{θ}), например, снижение температуры в ночное время на 2°C ($\Delta t_{\theta} = 2^{\circ}\text{C}$).

Значение отдельных метеорологических параметров, создающих оптимальные и допустимые условия воздушной среды в различных по назначению закрытых помещениях, даются в СН245–71, СНиП П-33–75, ГОСТ 12.1.005–76, а также в специальной литературе.

Таким образом, в отапливаемых помещениях состав регулируемых параметров, точность их соблюдения во многом зависят от целей и задач регулирования, назначения помещений. Поэтому в дальнейшем необходимо рассмотреть более подробно некоторые особенности регулируемых параметров в различного рода зданиях.

1.4 Микроклимат в жилых и производственных помещениях

Оптимальные метеопараметры в жилых помещениях характеризуются такими условиями теплового режима, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и

теплового состояния организма без напряжения реакций терморегуляции. В этом случае появляется ощущение теплового комфорта, создаются предпосылки для высокого уровня работоспособности, которые определяются двумя условиями [3].

Первое условие комфортности заключается в том, что человек, находящийся в середине обслуживаемой зоны и отдающий тепло, не должен испытывать ни перегрева, ни переохлаждения. Комфортность зависит от характера деятельности, одежды человека, времени года, радиационной обстановки и температуры воздуха в помещении. На рисунке 1.4.1, по данным работы [1], представлены графики для определения комфортных условий в зависимости от наиболее важных из перечисленных факторов при длительном пребывании людей в помещении.

Второе условие температурной комфортности определяет допустимые температуры нагретых и охлажденных поверхностей при нахождении человека на границах обслуживаемой зоны (рисунок 1.4.2).

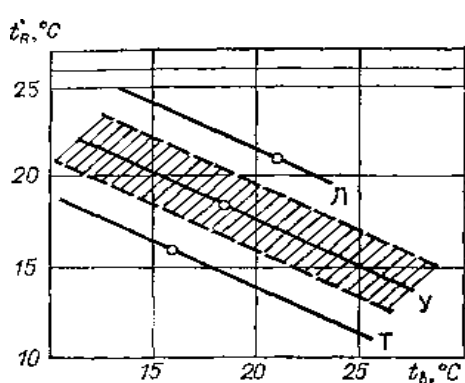


Рисунок 1.4.1 – Первое условие комфортности для зимы
Г — при тяжелой работе; У — умеренной;
Л—легкой (заштрихованная область соответствует допустимым отклонениям при умеренной работе)

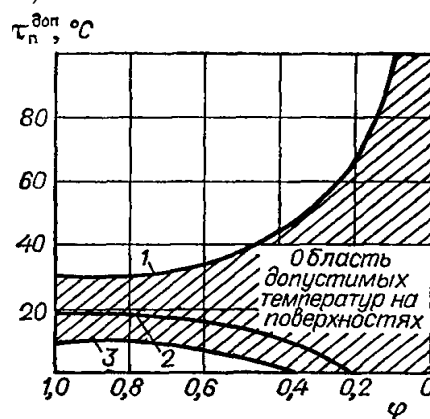


Рисунок 1.4.2 – Второе условие комфортности:
зависимость допустимых значений температуры нагретых (1), охлажденных (2) поверхностей и поверхностей окон (3) от коэффициента облучения

Особенности микроклимата общественных и производственных зданий

Состояние воздушной среды в общественных и производственных зданиях должно удовлетворять как санитарно-гигиеническим, так и технологическим требованиям. Микроклимат производственных помещений определяется с учетом обеспечения качественного протекания технологического процесса, а также сохранности оборудования и готовых изделий. Руководящие материалы по нормированию микроклимата определяют необходимые сочетания температуры, влажности и скорости движения воздуха, экстремальные скорости V_x , перепады температур в местах поступления приточных струй в рабочую или обслуживаемую зону помещения. По сравнению с жилыми помещениями здесь необходимо учитывать большее число факторов и специфических особенностей деятельности человека, а также производства.

В случае нормировании температуры воздуха из условия технологического

процесса, сохранности оборудования или изделия нередко устанавливаются значительные ограничения на отклонения температуры воздуха (до $\pm 0,01$ °С). Для прецизионных процессов в ряде случаев создаются гармонические колебания температуры воздуха определенной амплитуды и частоты.

Оптимальными для животноводческих помещений называются метеорологические условия окружающей среды, при которых возможно получение наибольшей продуктивности от находящихся в них животных. Основным условием для этого является отсутствие напряженности в системе терморегуляции организма. Для животных различных типов и возраста установлены целесообразные пределы изменения температурно-влажностных условий воздушной среды и ограждающих конструкций.

Развитие растений обеспечивается совокупностью почвенных и атмосферных условий в соответствии с законом минимакса: если хотя бы один из факторов, обеспечивающих рост и развитие растений, будет в недостатке или избытке, то жизнедеятельность растений и урожай будут находиться от этого фактора в прямой зависимости.

Микроклимат культивационных сооружений является одним из определяющих развитие факторов. Основная климатическая особенность культивационных сооружений – существенная зависимость от наружных метеорологических условий (интенсивности солнечной радиации, ветра, наружной температуры).

Анализ особенностей микроклимата рассматриваемых сооружений и требований к нему показывает, что культивационные сооружения нуждаются в надежных средствах управления микроклиматом, обеспечивающих: постоянный обогрев в зимний период и периодический обогрев в весенне-летний; поддержание требуемой влажности; тепловую защиту пристенной зоны; уменьшение или ликвидацию перегрева в весенне-летний период.

Рекомендуемые значения температур воздуха зависят от вида и сорта культур, стадии развития, времени года и приводятся в специальной литературе.

1.5 Параметры регулирования горячего водоснабжения

Удовлетворение гигиенических и бытовых нужд населения в горячей воде, обеспечение промышленности и сельского хозяйства водой определенной температуры является одной из задач систем теплоснабжения. Средняя тепловая нагрузка горячего водоснабжения в городах достигает 10-40 % от расчетной нагрузки отопления, и поэтому она оказывает существенное влияние на тепловые и гидравлические режимы тепловых сетей. Особенности рассматриваемого типа теплоиспользования являются: слабая зависимость расходов теплоты от климатических условий, круглогодичный характер и значительная неравномерность водопотребления [3].

Контролируемыми и регулируемыми параметрами в системах горячего водоснабжения являются: качество, температура горячей воды, напор в точках водоразбора. Регулируемыми являются также запасы горячей воды в баках-аккумуляторах, расходы воды у некоторого типа потребителей, допускающих варьирование временем водоразбора.

Необходимая температура воды определяется характером ее использования. Так, для умывания она составляет 25-30 °С, для принятия ванн и душа – 37-40 °С, для мытья посуды – 55-70°С. В технологических процессах диапазон температуры весьма широк – 20-95 °С.

С другой стороны, в системах теплоснабжения температура воды обуславливается санитарно-гигиеническими требованиями. За нижний предел принимается так называемая «температура пастеризации», при которой погибает большинство болезнетворных бактерий, за верхний предел – такая температура, при которой невозможно получение ожогов потребителями. В точках водозабора СНиП П-34-76 регламентирует следующие температуры:

для систем централизованного горячего водоснабжения, присоединенных к закрытым системам теплоснабжения, – не ниже 50 и не выше 75 °С;

для систем централизованного горячего водоснабжения, присоединенных к открытым системам теплоснабжения, а также для систем местного (децентрализованного) горячего водоснабжения – не ниже 60 и не выше 75 °С.

Поскольку для гигиенических процедур используется вода с температурой 37-42 °С, в некоторых случаях для экономии теплоты осуществляется снижение температуры воды у водоразборных кранов ночью до 40 °С.

Для учреждений социального обеспечения, общеобразовательных школ, детских домов и дошкольных учреждений, а также в зданиях лечебно-профилактических учреждений температура горячей воды принимается не выше 37 °С.

Указанные ранее нижние пределы температуры воды относятся к наиболее удаленным от подогревательной установки водоразборным точкам и к минимальному расходу воды по подающим трубопроводам, соответствующему отсутствию водоразбора и наличию в системе только циркуляционного расхода воды. С учетом потерь тепла в трубопроводах в первом приближении на выходе из подогревателей рекомендуется принимать:

$$t_{2.закр}^{min} = t_{2.закр}^{норм} + 10 = 50 + 10 = 60 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{2.откр}^{min} = t_{2.откр}^{норм} + 5 = 60 + 5 = 65 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Нарушения температурного режима систем горячего водоснабжения приводят к существенным перерасходам теплоты и горячей воды. Особенностью систем бытового горячего водоснабжения является периодическое и кратковременное включение в работу отдельных приборов, что приводит к резко переменному графику расходов горячей воды по системе в целом в течении суток (рисунке 1.5.1). Помимо

внутри суточных колебаний, наблюдаются изменения среднесуточных расходов в течении недели, месяца, года. Количественное прогнозирование нагрузки горячего водоснабжения определяет совершенство регулирования отпуска теплоты, режимов работы систем отопления, диагностики аварийных ситуаций в системах.

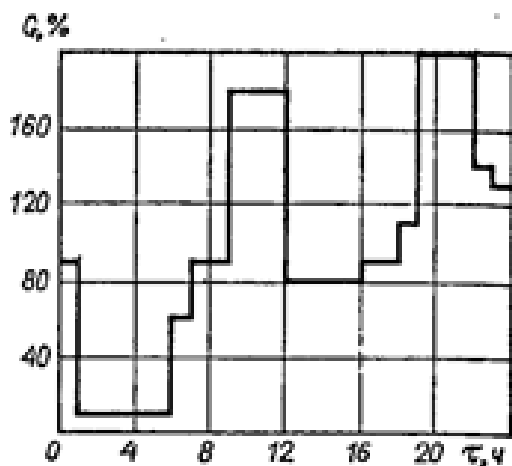


Рисунок 1.5.1 – Обобщённый суточный график потребления горячей воды

В системах горячего водоснабжения важным регулируемым параметром является напор в точках водоразбора. Из условий надёжности функционирования и предотвращения попаданий воздуха в систему минимальный напор в точках водоразбора устанавливается в размере 2-5 м. Так, напор свободного слоя воды $H_{св}$ через водоразборные краны у раковины, моек, душевых сеток, умывальников, а так же у смесителей умывальников принимаются не менее 2 м, для смесителей у ванн и душевых сеток в квартирах – не менее 3 м, для душевых сеток в групповых установках – до 4 м. Максимальное давление определяется механической прочностью трубопроводов.

Цели регулирования для систем горячего водоснабжения могут заключаться в следующем:

в удовлетворении условия $P_t \geq P_t^{норм}$;

в минимизации значения $P_{нач} = f(G_i)$ по выражению (2.12) при условии $P_t \geq P_t^{норм}$ с целью сокращения затрат на транспорт воды к потребителям (рис. 2.13);

в управлении величинами S_{jj} для доведения до минимума величин $P_i - P_i^{норм}$;

в минимизации величины $\int_0^b P_{нач} dt$ (из условия обеспечения суммарным расходом) при наличии потребителей, допускающих варьирование временем водозабора τ (наличие баков-аккумуляторов и др.);

в регулировании расходов воды в циркуляционных контурах систем горячего водоснабжения с целью из минимизации при соблюдении условия $t_{норм}^{max} > t_k > t_{норм}^{min}$;

в удовлетворении условия $P_i \geq P_i^{\text{норм}}$ категорированных потребителей с временным или полным отключением водопотребления у абонентов, допускающих временные перерывы.

1.6 Регулируемые параметры для систем теплоснабжения

Одним из основных регулируемых параметров для систем теплоснабжения является величина гидродинамического давления в различных точках тепловой сети, анализируемая, как правило, с помощью пьезометрических графиков. Здесь в период функционирования необходимо минимизировать затраты электроэнергии на привод циркуляционных и подпиточных насосов при удовлетворении требуемых расходов и граничных условий по величинам гидродинамических давлений [3].

Гидростатический режим тепловых сетей определяется из условий заполнения системы водой до 100°C и обеспечения в верхних гидравлически связанных точках высоко расположенных отопительных установок избыточного давления не менее 0,05 МПа (5 м вод. ст.), а в элементах системы расположенных на низких геодезических уровнях, – не выше допустимых для установленного оборудования давлений.

Гидродинамические давления, помимо указанных выше пределов, должны удовлетворять условиям функционирования: для подающей линии – защита от вскипания воды, для обратной линии – предотвращение вакуума (давления меньше 0,1 МПа) в системе, а также предупреждения кавитации жидкости в насосах.

Величина требуемого перепада давлений ΔP на вводе у потребителя зависит от характеристики местной системы и схемы её присоединения к тепловой сети. В случае присоединения отопительных или вентиляционных систем без элеваторного узла смешения или с насосным подмешиванием $\Delta P = 0,04 \div 0,05$ МПа, при элеваторном присоединении $\Delta P = 0,1 \div 0,15$ МПа, через водонагреватели $\Delta P = 0,04 \div 0,08$ МПа. При последовательном включении системы отопления и водонагревателя на систему горячего водоснабжения располагаемых, напор принимается равным суммарной величине требуемых напоров.

Управляющими воздействиями для минимизации энергетических затрат и обеспечения гидравлических режимов в общем случае являются: снижение величины $\Delta H_{\text{рд}}$ за счёт оптимального выбора числа работающих насосов, регулирование частоты вращения насосов, выбор представительных абонентов в различные периоды работы системы и др.

Производным регулируемым параметром в системах теплоснабжения является расход теплоты, определяемый температурами и расходом теплоносителя. Изменение параметров теплоносителя в соответствии с фактической тепловой потребностью абонентов повышает качество теплоснабжения, сокращает расходы тепловой энергии и топлива. Адекватное определение потребного и фактического расходов теплоты

способствует возможностям максимальной экономии топлива и тепловой энергии, достижению высоких экономических показателей в теплоснабжении.

Потребные (нормируемые) расходы теплоты определяются в соответствии с известными методиками и нормативными документами.

Часовой расход теплоты на отопление отдельного здания можно определить по выражению

$$Q_{от} = 1,1 (Q_{но} + Q_{в} - Q_{вт});$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий дополнительные потери теплоты в местной системе отопления (СНиП 11-33-75);

$Q_{но}$ – потери теплоты через наружные ограждения здания с учётом инфильтрационных потерь;

$Q_{в}$ – теплота, затрачиваемая на подогрев вентиляционного воздуха;

$Q_{вт}$ – внутренние тепловыделения.

Для определения потерь через наружные ограждения без учёта инфильтрации возможно использовать формулу

$$Q'_{но} = \sum kF\Delta t$$
$$Q'_{но} = q'_0 V(t_{в} - t_{н})$$

где F – площадь поверхности отдельных ограждений, m^2 ;

k – коэффициент теплопередачи наружных ограждений, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

Δt – разность температур воздуха с внутренней и наружной стороны ограждающих конструкций, $^\circ C$,

$k_c, k_{ох}, k_{ат}, k_{на}$ – коэффициенты теплопередачи стен, окон, потолка верхнего этажа, $Вт/m^2 \cdot ^\circ C$);

ϕ – коэффициент остекления, т.е. отношение площади окон к площади вертикальных ограждений (стен);

ψ_1, ψ_2 – поправочные коэффициенты на расчётный период температур для верхнего и нижнего горизонтальных ограждений здания для большинства случаев: $\psi_1 = 0,75 \div 0,9$; $\psi_2 = 0,5 \div 0,7$; q'_0 – удельная тепловая характеристика конкретного здания.

Полные тепло потери с учётом инфильтрации

$$Q_{но} = (1 + \mu)q'_0 V(t_{в} - t_{н}),$$

где μ – коэффициент инфильтрации:

$$\mu = b \sqrt{2gL \left(1 - \frac{t_{н} + 273^\circ}{t_{в} + 273^\circ}\right) + \omega_{в}^2};$$

g – ускорение свободно падающего тела, m/c^2 ;

L – свободная высота здания (для жилых и общественных зданий – высота этажа), m ;

$\omega_{в}$ – скорость ветра, m/c ;

b – постоянная инфильтрации, c/m .

Ориентировочный расход теплоты на вентиляцию

$$Q_B = mV_B c_B (t_{BH} - t_H);$$

$$Q_B = q_B V (t_{BH} - t_H);$$

где m – кратность воздухообмена, c^{-1} или q^{-1} ;

V – объём здания, m^3 ;

V_B – вентилируемый объём здания, m^3 ;

t_{BH} – температура нагретого воздуха, подаваемого в помещение, $^{\circ}C$;

q_B – удельный расход теплоты на вентиляцию (при $t_{BH} = t_B, q_B = m c_B V_a / V$).

Рассмотренные выше методы применимы лишь для укрупнённого прогнозирования расхода теплоты и топлива. В настоящее время практически отсутствуют обоснованные методики определения более точной тепло потребности с учётом эксплуатационных особенностей.

Фактическое теплотребление здания наиболее точно определяется с помощью тепломеров.

1.7 Внешние и внутренние возмущающие воздействия

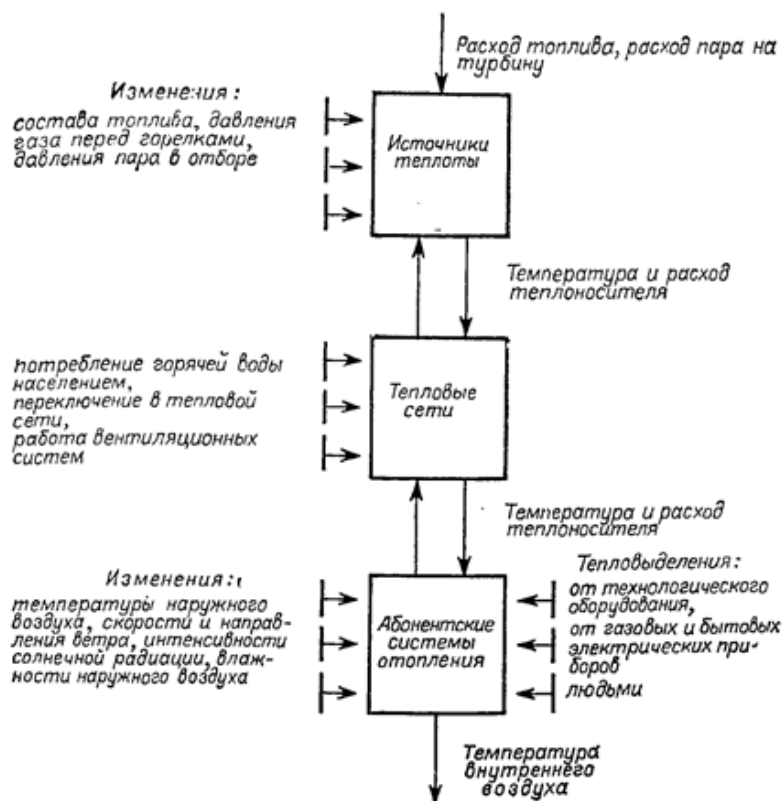


Рисунок 1.7.1 – Возмущающее и управляющие воздействия в системах централизованного теплоснабжения

Управляющими (регулирующими) воздействиям, которые должны обеспечить стабилизацию температурного режима помещений в заданных пределах или его изменение во времени по заданной программе, являются температура и расход теплоносителя поступающего в нагревательные приборы, а также продолжительность его подачи [3].

Управляющие воздействия, в свою очередь подвергаются различного рода возмущениям. На работу источника теплоты влияют переменный состав топлива, колебания давления газа перед горелками котла, изменения давления пара в отборе турбины и т.д. На режим работы тепловых сетей оказывают влияние переменная нагрузка горячего водоснабжения, работа вентиляционных устройств, переключения в сети и т.д. (рисунок 1.7.1). Для создания требуемых температурных условий в отапливаемых помещениях влияние указанных возмущений необходимо компенсировать соответствующей системой управления отпуском теплоты.

Температура наружного воздуха. Основным фактором, определяющим режим работы систем отопления, является изменение температуры наружного воздуха. При этом меняется разность между внутренней t_v и наружной t_n температурами, т. е. температурный напор, вызывающий перенос теплоты через ограждающие конструкции зданий. Этот перенос происходит путём кондуктивного теплообмена через толщу ограждений и лучистого и конвективного теплообмена их поверхностях. За счёт разности объёмных масс теплового и холодного воздуха возникает перепад давлений внутри и снаружи здания, который обуславливает теплообмен путём инфильтрации воздуха через плотности в ограждающих конструкциях.

По своим динамическим свойствам тепловые потери зданий, вызванные изменением температуры наружного воздуха, делятся на быстрые (через нетеплоёмкие ограждения) и медленные (через теплоёмкие ограждения).

Колебания температуры наружного воздуха носят периодический и непериодический характер. К периодическим колебаниям относят годовой и суточный ход температуры, зависящий главным образом от широты местности, её удалённости от моря, рельефа местности, времени года. Непериодические колебания возникают под действием случайных факторов. Они могут быть достаточно длительными, многосуточными (например, вызванные прохождением через данный район холодной волны воздуха) и кратковременными (пульсациями), обусловленными причинами.

Изменения температуры наружного воздуха (не считая пульсаций, которые практически не влияют на температурный режим зданий) обычно происходят со скоростью не более 2° в час, но в отдельные периоды (например при прохождении фронта, температурной волны, вызванной циклоном) могут достигать 10° и более. Для большей части районов СССР суточный градиент температур воздуха наиболее

существенен в весенний период отопительного сезона (март – апрель). Температуры воздуха меняются тоже и с высотой над уровнем земли.

В пределах города имеют место температурные контрасты, обусловленные различной плотностью застройки, высотой домов, шириной улиц и площадей, их расположением по странам света, растительным покровом. Так, средняя неравномерность

Ветер. Значительное влияние на тепловые потери отапливаемых зданий оказывают скорость и направление ветра. Под действием ветра и температурного напора происходит проникновение наружного холодного воздуха через щели, оконные и дверные заполнения (воздухообмен через поры материалов стен мал и им можно пренебречь), а также горизонтально перемещение потоков воздуха с наветренной стороны на подветренную.

Вследствие ветрового и гравитационного давлений возникает вертикальное перемещение потоков воздуха внутри здания, сопровождающееся интенсивной инфильтрацией наружного воздуха в помещениях жилых этажей, постепенно уменьшающейся по высоте здания. В помещениях верхних этажей может происходить эксфильтрация воздуха через наружные ограждения. Изменение тепловых потерь зданий при ветре происходит также за счёт увеличения коэффициента теплоотдачи ограждающих конструкций.

Степень воздействия ветра на тепловые потери зависит от ориентации здания по странам света. Так как скоростной напор ветра по преобладающему направлению значительно больше, чем по остальным.

По своим динамическим характеристикам тепловые потери зданий, обусловленные влиянием ветра, делятся на быстрые и медленные. Быстрые тепловые потери обусловлены проникновением холодного воздуха путем инфильтрации через неплотности в оконных и дверных проемах, стыки наружных стеновых панелей, а также влиянием ветра на коэффициент теплоотдачи окон. При этом величина инфильтрации в большой степени зависит от качества оформления оконных проемов и ухода за ними. Медленные тепловые потери обусловлены главным образом влиянием ветра на коэффициент теплоотдачи наружных поверхностей стен.

Как показали многочисленные исследования, зависимость быстрых тепловых потерь здания от скорости ветра в широком диапазоне скоростей может быть принята линейной.

Влияние ветра на тепловой режим здания удобно оценивать путем введения поправки к температуре наружного воздуха, по которой осуществляется регулирование расхода теплоты. Величина этой поправки Δt_{H_0} может быть определена из выражения

$$\Delta t_{H_0} = d_p(v - v_p)(t_B - t_H)$$

где v — скорость ветра, м/с;

v_p — скорость ветра, на которую рассчитываются тепловые потери здания;

$v_p = 5$ м/с; t_v, t_n — температура воздуха внутри и снаружи здания, °С;

d_p — коэффициент, зависящий от теплотехнических характеристик помещений и воздухопроницаемости оконных проемов, °С/м.

Помимо увеличения общего размера тепловых потерь, ветер приводит к уменьшению запаздывания при прохождении тепловой волны через стену, а также к относительному снижению доли медленных теплотерь в суммарных теплотерях здания.

Ветер не обладает постоянной скоростью и направлением, он дует порывами. Однако на тепловые потери зданий оказывают влияние не отдельные порывы ветра, а его усредненное за определенный отрезок времени значение, которое и должно учитываться в системах автоматического управления подачей теплоты в здания.

В связи с этим учет направления ветра при центральном автоматическом управлении подачей теплоты, за исключением некоторых особых случаев, не представляется возможным.

Учет же скорости ветра (тем или иным способом), которая, может существенно увеличить тепловые потери зданий, при центральном регулировании является необходимым.

Высокая точность компенсации влияния скорости и направления ветра на температурный режим помещений может быть достигнута при пофасадном и индивидуальном автоматическом регулировании теплоотдачи нагревательных приборов.

Солнечная радиация. Поступление теплоты за счет солнечной радиации занимает существенную долю в тепловом балансе отапливаемых помещений.

Потоки солнечных лучей приходят на ограждающие поверхности зданий в виде прямой солнечной радиации, в виде лучей, рассеянных атмосферой и облаками, а также в виде потоков, отраженных от поверхностей расположенных рядом зданий, земли и различных предметов.

Соответственно различают прямую, рассеянную и отраженную радиацию. Количество прямой солнечной радиации, поступающей на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам, зависит от широты местности, времени года, состояния атмосферы. Рассеянная радиация, как и отраженная, в основном для всех ограждений одинакова, независимо от ориентации

Влияние солнечной радиации на тепловой режим здания удобно оценить путем введения соответствующей поправки к температуре наружного воздуха, определяемой из выражения

$$\Delta t_R = q_{\text{инс}} \div \sum kF$$

где $q_{\text{инс}}$ — количество лучистой теплоты, поступающей в здание (включая

коротковолновую радиацию, проникающую через окна, и теплоту, поглощенную ограждающими конструкциями и переданную воздуху помещений), Вт;

$\sum kF$ – основные (кондуктивные) тепловые потери зданий при разнице температур внутреннего и наружного воздуха в 1 °С, Вт/°С.

Из изложенного следует, что солнечная радиация оказывает существенное влияние на тепловой режим помещений. Ее учет при отоплении зданий возможен в случае применения систем пофасадного либо индивидуального автоматического регулирования.

Внутренние возмущающие воздействия, как было отмечено выше, обуславливаются целым рядом причин. В жилых домах их источником являются бытовые тепlopоступления. Значительное количество бытовой теплоты выделяется при приготовлении пищи на кухне. Большая ее часть выделяется интенсивно и в сравнительно короткий срок. Но эта теплота достигает жилых комнат чаще всего сглаженным и выровненным потоком благодаря аккумуляции ее ограждениями кухни, предметами обихода, мебелью и пр., значительная же часть ее удаляется при вентиляции самой кухни.

Количество выделяемой теплоты в помещении зависит от состава семьи, уклада жизни, размеров квартиры, характера деятельности семьи (тяжелая или легкая работа), температуры воздуха в помещении, среднего времени пребывания человека в доме. Суточный размер тепловыделений от пребывания человека в течение 50-70% времени составляет 1300-1400 Вт·ч; суточный расход электроэнергии в квартирах – 500-600 Вт·ч; суточный расход теплоты для приготовления пищи – 1100-1400 Вт·ч; общий среднечасовой размер бытовых тепловыделений – 130-140 Вт·чел.

Для оценки влияния тепловыделений на тепловой режим отапливаемых помещений удельную кубатуру на одного человека можно принять равной (по наружному обмеру) 50 м³, а удельную тепловую нагрузку – $q=0,35$ Вт/(м³·°С).

В переходный период отопительного сезона (+10°С) величина тепловыделений приближается к величине тепловых потерь здания. Устранение «перетоков» в помещениях, вызванных влиянием бытовых тепловыделений, может быть достигнуто путем индивидуального регулирования теплоотдачи нагревательных приборов.

1.8 Влияние горячего водоснабжения на режим работы систем теплоснабжения

Горячее водоснабжение жилых и общественных зданий и коммунальных предприятий является крупным потребителем теплоты в системах централизованного теплоснабжения. Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение достигает 40% от общего годового отпуска ТЭЦ или районной котельной. Пиковые нагрузки горячего водоснабжения в ряде случаев превышают расходы теплоты на отопление зданий [3].

Режим потребления горячей воды населением отличается резко выраженной неравномерностью как в течение недели, так и в пределах суток.

Представление о характере режимов водопотребления дают значения коэффициентов неравномерности:

$$K = G_{max}/G_{cp}$$

где G_{max} – минимальный расход за исследуемый отрезок времени (неделя, сутки, час);

G_{cp} – средний расход за тот же отрезок времени.

Как известно, существует несколько систем и способов горячего водоснабжения при централизованном теплоснабжении: закрытые системы с параллельной, последовательной и смешанной схемами включения теплообменников, открытые системы с непосредственным водоразбором из тепловых сетей.

Работа установок горячего водоснабжения приводит к определенным нарушениям параметров теплоносителя в системах отопления. В связи с этим при решении вопросов автоматического регулирования режимов отопления зданий горячее водоснабжение следует рассматривать как возмущающее воздействие на регулируемую величину (расход и температуру теплоносителя).

Влияние горячего водоснабжения на работу систем отопления определяется размером и режимом потребления горячей воды, способом его осуществления, гидравлическими характеристиками тепловой сети и абонентских установок.

Исследования теплового и гидравлического режимов тепловых сетей при различных способах осуществления горячего водоснабжения показали следующее.

Достоинство открытых тепловых сетей с точки зрения их гидравлического режима заключается в том, что при низких температурах наружного воздуха, когда системы отопления наиболее чувствительны к колебаниям расходов воды в сети, водоразбор, производимый в это время из обратных труб, усиливает циркуляцию воды в системах. Это положительно сказывается на их тепловой устойчивости. Водоразбор из подающих труб, уменьшающий расход воды в системах отопления, осуществляется только при положительных температурах наружного воздуха, при которых даже существенные нарушения режимов работы тепловых сетей оказывают малозаметное влияние на температуру воздуха в отапливаемых помещениях. При

среднезимних температурах наружного воздуха отбор одновременно из обеих труб тепловой сети создает условия, практически исключая влияние горячего водоснабжения на режим систем отопления.

Непосредственный водоразбор удачно сочетается с качественно-количественным регулированием в тепловых сетях, так как в этом случае в переходный период отопительного сезона не требуется увеличения (против расчетного) напора воды в сети для уменьшения влияния отбора из подающего трубопровода на работу системы отопления.

Недостатками открытых тепловых сетей являются существенные изменения давления в сети при колебаниях величины водоразбора. В периоды интенсивного водопотребления возможно прекращение или изменение направления циркуляции теплоносителя в обратном трубопроводе на ответвлениях тепловой сети к отдельным зданиям. Указанные обстоятельства должны учитываться при создании АСУ ТП открытых систем теплоснабжения.

Наиболее тяжелые условия гидравлического и теплового режимов создаются при закрытой схеме горячего водоснабжения с параллельным включением подогревателя. Колебания расхода воды в системах отопления в этом случае оказываются максимальными.

При последовательной двухступенчатой схеме работа установок горячего водоснабжения совершенно не влияет на гидравлический режим тепловой сети. Однако включение подогревателя второй ступени вызывает понижение температуры воды в системе отопления, которое должно компенсироваться соответствующим повышением температур воды в сети. Кроме того, эта схема плохо сочетается с местным автоматическим регулированием в абонентских вводах.

При смешанной двухступенчатой схеме работа подогревателя второй ступени вызывает колебания расхода воды в системе отопления. Размер нарушений гидравлического режима возрастает с понижением температур сетевой воды (по мере увеличения нагрузки второй ступени подогрева) и достигает максимума в переходный период отопительного сезона. Однако, как уже было отмечено, нарушение гидравлического режима тепловой сети в этот период не оказывает существенного влияния на температуру воздуха в отапливаемых помещениях.

Смешанная двухступенчатая схема, так же, как и непосредственный водоразбор, удачно сочетается с режимом качественно-количественного регулирования в тепловых сетях. При таком сочетании не требуется увеличения напора в сети (против расчетного) для компенсации влияния работы подогревателя второй ступени на режим отопления. Сложные условия гидравлического режима при этой схеме (как и при открытой схеме) возникают в часы максимального разбора горячей воды на бытовые нужды, иногда превышающего расход воды в системах отопления.

Таким образом, при всех способах горячего водоснабжения оно оказывает в тех или иных размерах влияние на тепловой и гидравлический режимы систем отопления. Устранение этого влияния может быть достигнуто централизованным путем и местным автоматическим регулированием в абонентских вводах.

1.9 Классификация управляющих воздействий

Физическая величина, с помощью которой осуществляется воздействие на объект управления, называется регулирующей, а ее изменение – управляющим воздействием, являющимся средством для поддержания необходимого значения регулируемого параметра [3].

В системах теплоснабжения и отопления управляющим воздействием, в общем случае, является изменение количества по даваемой теплоты, осуществляемое совместным или отдельным регулированием температуры и расхода теплоносителя, а также изменением условий теплообмена. Классификация управляющих воздействий представлена на рис. 1.9.1.

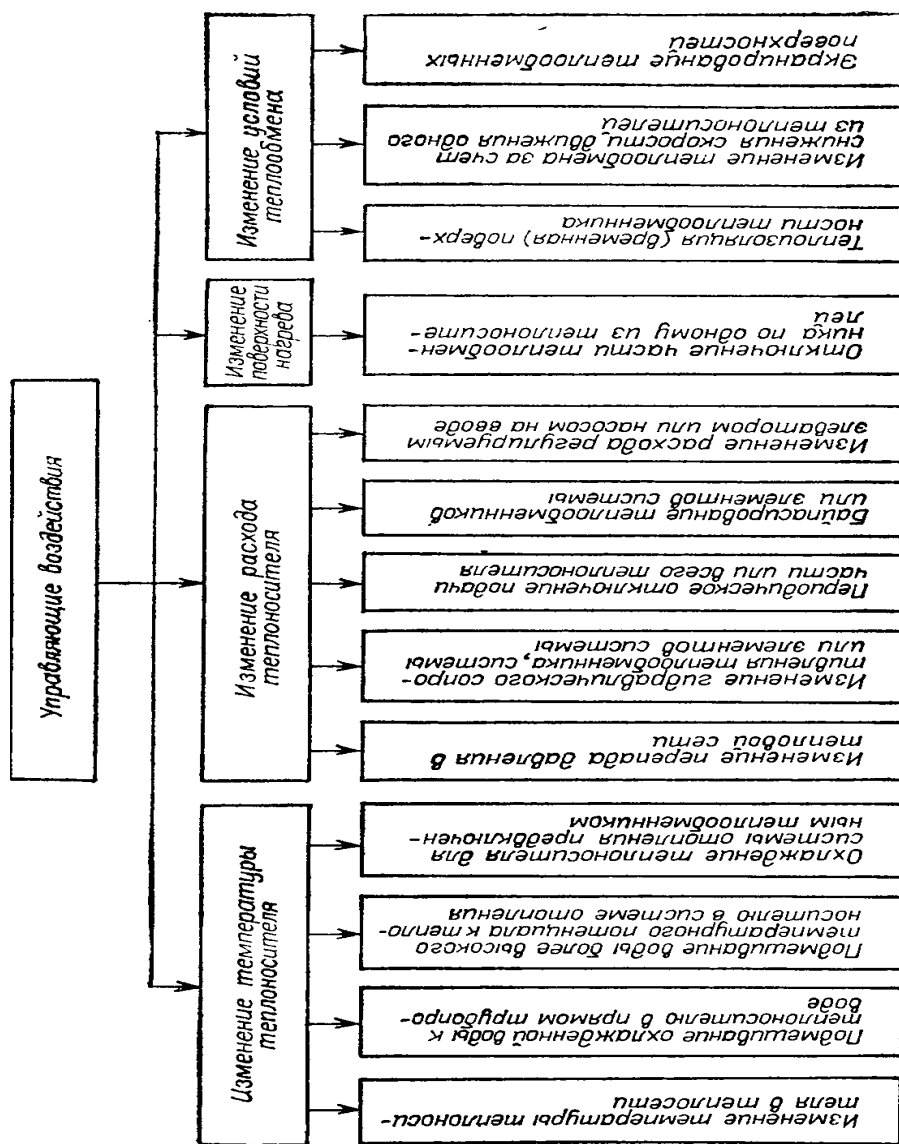


Рисунок 1.9.1 – Классификация управляющих воздействий в системах теплоснабжения в отоплении

1.10 Уравнение нестационарного теплообмена объектов систем теплоснабжения

Система теплоснабжения представляет собой совокупность большого числа теплообменных устройств, объединенных в единую систему генерации, транспорта, отпуска теплоты, и может быть представлена в виде структурной схемы, учитывающей все внутренние связи и внешние воздействия. Элементы системы теплоснабжения разделяются по видам теплопередачи (фильтрацией, конвекцией, теплопроводностью, излучением), по физическим свойствам теплоносителей (газ, жидкость, двухфазный теплоноситель с изменяющимся агрегатным состоянием) и по конструктивному выполнению (прямоток, противоток, перекрестный ток). Для всех этих весьма разнохарактерных элементов можно составить дифференциальные уравнения, описывающие процесс динамики теплообмена [3]. При этом допустим такой подход, когда можно пренебречь влиянием изменения массы среды на динамические процессы. В этом случае скорость изменения температуры среды пропорциональна полному количеству теплоты, передаваемой путем конвекции, теплопроводности, излучения, фильтрации и тепловыделения, т.е.

$$m dt = Q_k + Q_\lambda + Q_{из} + Q_\phi + Q_T, \quad (10.1)$$

Где m – масса среды ($m = \gamma V$); c – теплоемкость; γ – удельный вес; V – объем; $t = (t_1, t_2, \dots, t_i)$ – температура поверхности тела или теплоносителя; Q_k – суммарный расход подведенной и отведенной теплоты путем конвекции:

$$Q_k = \pm \sum_{i=1}^n a_i F_i (t_i - t_{i-1}); \quad (10.2)$$

a_i – коэффициент теплоотдачи; F_i – поверхность теплообмена; Q_λ – результирующий расход подведенной (отведенной) теплоты за счет теплопроводности:

$$Q_\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i F_i \frac{\partial^2 t_i}{\partial x_i^2}; \quad (10.3)$$

λ_i – коэффициент теплопроводности среды; x – пространственная координата; $Q_{из}$ – суммарный расход теплоты, подведенной с некоторой области пространства излучением:

$$Q_{из} = \sum_{i=1}^n F_i q_i(\tau); \quad (10.4)$$

$q_i(\tau)$ – удельный тепловой поток; Q_ϕ – количество теплоты, подведенной (отведенной) фильтрацией: $Q_\phi = \sum_{i=1}^n K_{\phi_i} F_i (t_i - t_{i-1});$ 10.5)

K_{ϕ_i} – коэффициент фильтрационного теплообмена; Q_T – источник тепловыделения, изменение которого может быть задано любым законом.

Выражение dt в уравнении (10.1) есть полный дифференциал

$$\partial t = \frac{\partial t_i}{\partial \tau} + v_i \frac{\partial t_i}{\partial x_i}, \quad (10.6)$$

где v_i – скорость теплоносителя.

Для твердого тела и неподвижного теплоносителя $U_i = \frac{\partial t_i}{\partial x_i} \sim 0$.

После подстановки значений $Q_k, Q_\lambda, Q_{из}, Q_\phi, Q_T$ и полного дифференциала в выражение (10.1) получим систему дифференциальных уравнений в частных

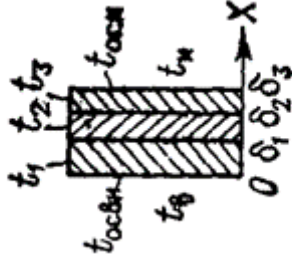
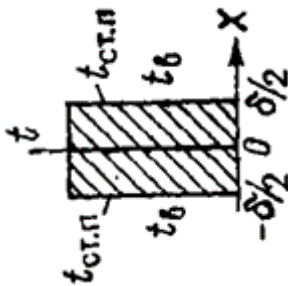
производных для каждого конкретного элемента системы теплоснабжения (таблица 1.10.1).

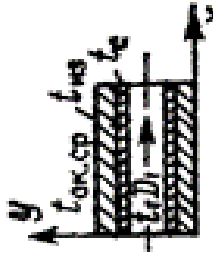
Более предпочтительным следует считать метод получения решения в виде передаточных функций. Аппарат передаточных функций более универсален, позволяет легко перейти к вычислению частотных характеристик. Последнее обстоятельство весьма существенно, так как частотный метод анализа динамических систем разработан наиболее полно и очень часто решение задач синтеза и анализа систем регулирования основано на использовании частотных характеристик объекта. Кроме того, определение частотных характеристик не представляет особых трудностей даже в случае сложных систем и существует множество методов аппроксимации по частотным характеристикам.

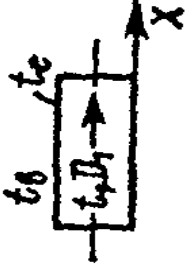
Общий метод получения передаточных функций сводится главным образом к известным элементам операционного исчисления, в частности к методу Лапласа преобразования функций. Операционное исчисление, основанное на преобразовании Лапласа и разработанное для исследования детерминированных дифференциальных уравнений в прикладной математике, находит широкое применение для решения задач нестационарного теплообмена, сводящихся к определению динамических характеристик теплообменных аппаратов. Этот метод, как известно, основан на работах Хевисайда, Бромвича, Карслоу и Карсона и др.

Полученные исходные системы уравнений (таблица 1.10.1) являются нелинейными. Поэтому, чтобы применить к ним преобразование Лапласа, необходимо системы дифференциальных уравнений в частных производных с переменными коэффициентами, являющимися функциями пространственных координат и времени, линеаризовать и заменить их постоянными или линейными функциями. Такая замена возможна, если коэффициенты инвариантны относительно времени и пространственных координат или не зависят от времени и изменяются линейно с пространственными координатами. Если систему не удастся представить в виде линейной или квазилинейной, то почти отсутствует возможность точного определения передаточных функций.

Таблица 1.10.1 Исходные уравнения, описывающие динамику теплообмена отдельных элементов

Элементы	Вид теплообмена	Расчетная схема	Дифференциальные уравнения	Граничные условия
<p>Наружные ограждения помещений (теплоемкие и не теплоёмкие)</p>	<p>Теплопроводность, конвекция и излучение</p>		$\begin{cases} \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x^2} \\ \frac{\partial t_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 t_2(x, \tau)}{\partial x^2} \\ \frac{\partial t_3(x, \tau)}{\partial \tau} = a_3 \frac{\partial^2 t_3(x, \tau)}{\partial x^2} \end{cases} \quad (10.7)$	$\left. \frac{\partial t_1}{\partial x} \right _{x=0} = -\frac{a_B}{\lambda_t} (t_B - t_{оч.вн.});$ $t_1 _{x=\delta_1} = t_2 _{x=\delta_1};$ $\frac{\lambda_1 \partial t_1}{\lambda_2 \partial x} \Big _{x=\delta_1} = \frac{\partial t_2}{\partial x} \Big _{x=\delta_1};$ $t_2 _{x=\delta_2} = t_3 _{x=\delta_2};$ $\frac{\lambda_2 \partial t_2}{\lambda_3 \partial x} \Big _{x=\delta_2} = \frac{\partial t_3}{\partial x} \Big _{x=\delta_2};$ $\frac{\partial t_3}{\partial x} \Big _{x=\delta_1} = \frac{a_H}{\lambda_3} (t_{оч.н} - t_B) + \frac{q_H}{\lambda_3};$
<p>Внутренние ограждения помещений</p>	<p>Теплопроводность, конвекция и излучение</p>		$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (10.8)$	$\left. \frac{\partial t}{\partial x} \right _{x=-\frac{\delta}{2}} = -\frac{a_B}{\lambda} (t_B - t_{ст.п.}) + \frac{q_{ои}}{\lambda};$ $\left. \frac{\partial t}{\partial x} \right _{x=-\frac{\delta}{2}} = -\frac{a_B}{\lambda} (t_B - t_{ст.п.});$ $\left. \frac{\partial t}{\partial x} \right _{x=-\frac{\delta}{2}} = 0$ <p>(условие симметричного теплообмена).</p>

Элементы	Вид теплообмена	Расчетная схема	Дифференциальные уравнения	Граничные условия
Объем воздуха помещения	Смешение, конвекция и излучение	—	$c_V V \frac{\partial t_B}{\partial \tau} = Q_{от}(\tau) + Q_{инс}(\tau) + Q_{быт}(\tau) - \alpha_{В.ВВ} F_{ВВ} (t_B - t_{ст.п}) - \alpha_{В.ВВ} F_{ВВ} (t_B - t_{ст.вн}) - \alpha_{В.ОК} F_{ОК} (t_B - t_{ок.вн}) - K_{\phi} F_{\phi} (t_B - t_H) \quad (10.9)$	—
Изолированный трубопровод	Теплопроводность, конвекция		$\left\{ \begin{aligned} c_l m_l \frac{\partial t_l(x, \tau)}{\partial \tau} + c_l D_l l \frac{\partial t_l(x, \tau)}{\partial x} &= \alpha_1 F_1 (t_c - t_l); \\ \frac{\partial t_c(x, \tau)}{\partial \tau} = \alpha_c \frac{\partial^2 t_c(x, \tau)}{\partial y^2}, & \quad (10.10) \\ 0 \ll y \ll \delta_1; & \\ \frac{\partial t_{из}(y, \tau)}{\partial \tau} = \alpha_{из} \frac{\partial^2 t_{из}(y, \tau)}{\partial y^2}, & \\ \delta_1 \ll y \ll \delta_2 & \end{aligned} \right.$	$\left. \begin{aligned} \frac{\partial t_c}{\partial y} \Big _{y=0} &= -\frac{\alpha_1}{\lambda_c} (t_1 - t_c); \\ t_c _{y=\delta_1} &= t_{из} _{y=\delta_1}; \\ \lambda_c \frac{\partial t_c}{\partial y} \Big _{y=\delta_1} &= \frac{\partial t_{из}}{\partial y} \Big _{y=\delta_1}; \\ \frac{\partial t_{из}}{\partial y} \Big _{y=\delta_2} &= -\frac{\alpha_2}{\lambda_{из}} (t_{из} - t_H(\tau)); \end{aligned} \right\}$

Элементы	Вид теплообмена	Расчетная схема	Дифференциальные уравнения	Граничные условия
<p>Отопительные приборы неизолированные трубопроводы</p>	<p>Конвекция, излучение</p>		$\left\{ \begin{array}{l} c_1 m_1 \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} + c_1 m_1 \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial x} = \\ = \alpha_1 F_1 (t_c - t_1); \\ c_c m_c \frac{\partial t_c(x, \tau)}{\partial \tau} = \alpha_1 F_1 (t_1 - t_c) - \\ - \alpha_2 F_2 (t_c - t_b); \\ c_b m_b (t_b'' - t_b') + \alpha_2 F_2 \cdot \\ \cdot \int_0^l (t_c - t_b) dx = \frac{dQ(\tau)}{d\tau} \end{array} \right. \quad (10.11)$	<p>$x = 0, \quad t_1(x, \tau) = t_1',$ $x = l, \quad t_1(x, \tau) = t_1''.$</p>

1.11 Динамические характеристики здания

Как было показано выше, температурный режим отапливаемых помещений формируется в результате совокупного влияния метеорологических условий (температуры наружного воздуха $t_{в}$, скорости ветра v , интенсивности солнечной радиации I), бытовых тепловыделений $Q_{быт}$ и теплопоступлений от отопительных приборов $Q_{от}$. Задача состоит в том, чтобы определить закон изменения температуры воздуха в помещении под влиянием этих воздействий [3].

Скорость изменения температуры воздуха в переходном режиме зависит, наряду с другими факторами, от того, как изменяются в это время температуры внутренних поверхностей наружных и внутренних ограждений $t_{ст. вн}$, $t_{ок. вн}$, $t_{ст. в}$, на которые, в свою очередь, влияют изменения температуры воздуха помещения, температуры наружного воздуха, скорость ветра, интенсивность солнечной радиации. Поэтому необходимо найти под воздействием этих возмущающих факторов законы изменения температуры поверхностей внутренних и наружных ограждений.

В общем случае ограждающие конструкции представляют собой плоскую стенку, толщина которой во много раз меньше длины, поэтому в математической формулировке процессы теплопередачи будут описываться одномерными уравнениями Фурье (5.7), (5.8) с граничными условиями третьего рода.

$$F(p)\Delta t_{ог. вн}(p) == P(p)\Delta t_{в}(p) + \left[\alpha_{H_0} + (t_{н} - t_{ог. вн})_0 \left(\frac{\partial \alpha_{н}}{\partial t_{н}} \right)_0 \right] \cdot \Delta t_{н}(p) x + (t_{н} - t_{ог. вн})_0 \left(\frac{\partial \alpha_{н}}{\partial t_{н}} \right)_0 \Delta \omega(p) + \Delta q_{н}(p) \quad (11.1)$$

Полученные результаты могут быть использованы при анализе процессов нестационарного теплообмена через ограждающие конструкции, на поверхностях которых имеют место несимметричные граничные условия (наружные теплоемкие ограждения, окна, витражи, внутренние ограждения).

При различной температуре воздуха в соседних помещениях для внутренних ограждающих конструкций необходимо дополнительно иметь передаточную функцию, устанавливающую динамическую связь между температурой на поверхности внутреннего ограждения и интенсивностью солнечного облучения.

Для определения коэффициентов передачи помещения надо найти производные функции (11.1) по переменным параметрам. Коэффициенты передачи по регулирующим воздействиям равны [5]:

по температуре приточного воздуха

$$K_{t_{пр}} = - \frac{L(c\rho)}{\eta_{тр} \sum k_0 F_0 - L(c\rho)}$$

по температуре теплоносителя

$$K_{t_{о.п}} = - \frac{t_{о.п}}{\eta_{тр} \sum k_0 F_0 - k_{о.п} F_{о.п}}$$

по расходу приточного воздуха

$$K_L = \frac{\eta_{\text{тр}} \sum k_0 F_0 t_{\text{нар.о}} + \sum Q_j \eta_j - \eta_{\text{тр}} t_{\text{пр}} \sum k_0 F_0}{(\eta_{\text{тр}} \sum k_0 F_0 - L(c\rho))^2}$$

Коэффициенты передачи по возмущающим воздействиям равны:
по температуре наружной среды

$$K_{t_{\text{нар}}} = \frac{\eta_{\text{тр}} \sum k_0 F_0}{\eta_{\text{тр}} \sum k_0 F_0 - K}$$

по тепловым потокам, поступающим в помещение,

$$K_{Q_j} = \frac{\eta_j}{\eta_{\text{тр}} \sum k_0 F_0 - K}$$

Динамические тепловые свойства помещения характеризуются амплитудной и фазовой частотными характеристиками.

Следует иметь в виду, что основные положения теории теплоустойчивости справедливы только для периодически повторяющихся тепловых воздействий поэтому они не могут быть прямым образом использованы для непосредственного определения временных динамических характеристик тепловых процессов (при разовых ступенчатых и импульсных воздействиях).

Однако зависимости теории теплоустойчивости, выведенные для прерывистых периодических тепловых воздействий, могут быть применены и к расчету импульсных динамических характеристик.

В зависимости от способа регулирования системы динамические свойства помещения описываются уравнениями вида:

при регулировании изменением температуры приточного воздуха

$$\frac{t_B}{t_{\text{пр}}} = \varphi(\omega t_{\text{пр}});$$

при регулировании изменением расхода воздуха

$$\frac{t_B}{L(c\rho)} = \varphi(\omega L(c\rho));$$

где $\omega = 2\pi/T$ – частота колебаний.

$$W_{\text{пом}}, t_{\text{пр}} = \frac{K_{\text{пом}}}{T_{\text{пом}} \omega i + 1}, \quad (11.2)$$

где

$$K_{\text{пом}} = \frac{1}{1 + \frac{\sum A_i F_i}{L(c\rho)}},$$

$$T_{\text{пом}} = \frac{\sum B_i F_i + V_{\text{пом}}(c\rho)}{\sum A_i F_i + L(c\rho)}.$$

Выражение (5.13) соответствует частотной характеристике апериодического звена 1-го порядка с переменными коэффициентами.

Сравнение разгонных характеристик разнотипных помещений (рисунок 1.11.1) показывает, что их динамические свойства существенно различны; в первую очередь это объясняется разными теплотехническими параметрами материалов ограждающих конструкций и соотношением площадей наружных и внутренних ограждений.

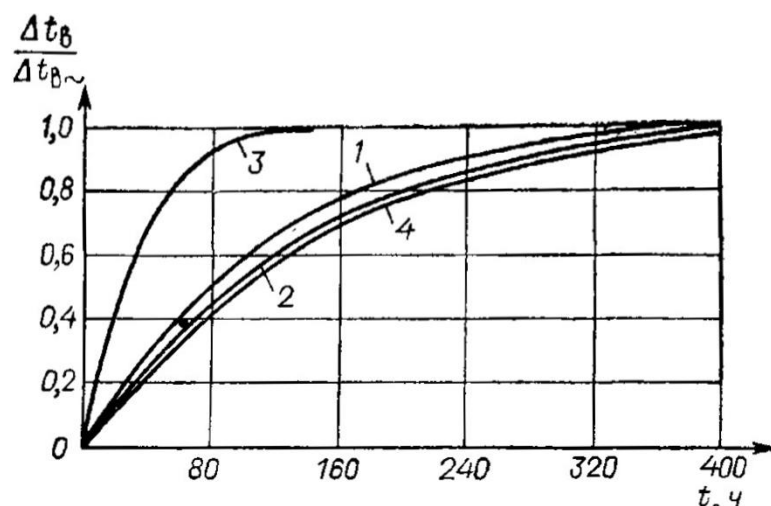


Рисунок 1.11.1 – Кривые разгона температуры воздуха в помещениях зданий разных типов: 1 – II-29-03; 2 – II-49П; 3 – II-49-A2; 4 – 1605/12

Меньшая величина постоянной времени помещения с наружными ограждениями из кирпичной кладки (кривая 1) по сравнению с помещением с наружными ограждениями из керамзитобетона (кривая 2) объясняется тем, что в качестве внутренних ограждений в здании серии II-29-03 частично применены менее инерционные гипсобетонные панели по сравнению с железобетонными панелями здания серии II-49П. Влияние более инерционного наружного теплоемкого ограждения на величину постоянной времени можно проследить, сравнивая кривые 2, 4. Эти кривые характеризуют переходный процесс в помещениях, отличающихся только наружными теплоемкими ограждениями. Сравнительно малая величина постоянной времени помещения здания II-49-A2 (кривая 3) объясняется большим отношением площади наружных ограждений к площади внутренних ограждений.

Анализ переходных процессов зданий разных типов показал, что определяющее влияние на динамические свойства помещений оказывает теплоаккумулирующая способность внутренних ограждающих конструкций. Пренебрежение теплоинерционными свойствами внутренних ограждающих конструкций приводит к уменьшению величины постоянной времени на 95 %, в то время как пренебрежение теплоинерционными свойствами наружных теплоемких ограждений изменяет величину постоянной времени всего на 10 %.

1.12 Динамические характеристики систем отопления

Системы отопления представляют собой последовательно-параллельное соединение теплообменника смешения, отопительных приборов и трубопроводов. В большинстве случаев они являются замкнутыми системами и переменные режимы работы отопительных приборов и трубопроводов систем отопления находятся в тесной взаимосвязи, поэтому при исследовании нестационарных процессов теплообмена в системах отопления

необходимо учитывать динамические свойства этих элементов по всем каналам связи [3].

Входными параметрами системы отопления являются температура и расход теплоносителя, температура воздуха в помещении, а выходными – количество выделяемой теплоты и температура теплоносителя на выходе.

При составлении исходных дифференциальных уравнений и их решении приняты следующие допущения:

теплофизические параметры воды, металла и воздуха не зависят от температуры;
температура воздуха по длине отопительного прибора одинакова;

градиент температур при теплопередаче теплопроводностью в радиальном и осевом направлениях в металле труб и потоке жидкости не учитывается;

зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры и скорости теплоносителя линеаризована в зоне малых отклонений параметров от их значений в заданном равновесном режиме и учитывается выражением

$$\Delta\alpha = \left(\frac{\partial L_1}{\partial t_1}\right)_0 \Delta t_1 + \left(\frac{\partial L_1}{\partial D_1}\right)_0 \Delta D_1.$$

В результате решения дифференциальных уравнений методом интегрального преобразования Лапласа получены передаточные функции, устанавливающие динамическую связь между всеми входными параметрами. Данные аналитические зависимости представлены в справочной литературе

Режимы работы систем отопления характеризуются переменными температурой и скоростью теплоносителя. Характер течения жидкости зависит от типов систем отопления и отопительных приборов и может быть турбулентным или ламинарным. Турбулентное течение жидкости, например, имеет место в однетрубных системах отопления при применении в качестве отопительных приборов конвекторов. Динамические свойства отопительных приборов при турбулентном течении жидкости в зависимости от режима работы изменяются аналогично динамическим свойствам изолированных трубопроводов. Это можно объяснить тем, что изменение динамических свойств определяется величиной коэффициента теплоотдачи, который вычисляется по одной и той же формуле.

Пределы изменения динамических параметров отопительных приборов при ламинарном течении жидкости значительно меньше, чем при турбулентном режиме, так как величина коэффициента теплоотдачи сравнительно слабо зависит от температуры и скорости теплоносителя.

Сравнение динамических параметров отопительного прибора при возмущении по температуре воды па входе для различных начальных значений температуры и скорости теплоносителя показывает, что динамические свойства изменяются в зависимости от начальной скорости теплоносителя и практически не зависят от начальной температуры.

Так как физика процессов теплообмена, происходящих в разводящих трубопроводах систем отопления, аналогична физике процессов в отопительных приборах, то влияние режимов работы на их динамические свойства одинаково. Однако эта аналогия носит только качественный характер. Динамические параметры разводящих трубопроводов систем отопления существенно зависят от начальной скорости теплоносителя и практически не зависят от его начальной температуры. Сопоставление динамических параметров участков стояка системы отопления показывает, что величина транспортного запаздывания и постоянной времени увеличивается с уменьшением скорости, а величина коэффициента передачи уменьшается.

Динамические параметры кривой разгона температуры теплоносителя на выходе стояка системы отопления (перед последним отопительным прибором по ходу теплоносителя) при возмущении по температуре на входе (перед первым отопительным прибором по ходу теплоносителя) могут быть получены путем последовательного соединения передаточных функций каждого участка.

Конструктивными особенностями, определяющими динамические свойства систем отопления, являются: тип отопительного прибора; поверхность нагрева отопительного прибора; диаметр трубопроводов систем отопления; тип систем отопления.

Отопительные приборы разных типов отличаются металлоемкостью, скоростью теплоносителя, поверхностью нагрева, законом изменения температуры теплоносителя по длине трубопровода, т. е. всеми параметрами, которые входят в коэффициенты передаточных функций.

Для более металлоемкого чугунного радиатора величины постоянной времени практически на порядок выше, чем для конвектора.

Многочисленные расчеты позволили установить некоторую закономерность изменения динамических параметров отопительных приборов в зависимости от поверхности нагрева. На рисунке 1.12.1, *a* в качестве примера показано изменение динамических параметров кривой разгона температуры теплоносителя на выходе при возмущении по температуре теплоносителя на входе для радиатора М-140 в зависимости от числа секций (при постоянном расходе теплоносителя через прибор). Характер изменения динамических параметров по остальным каналам воздействий аналогичен. Линейный закон изменения динамических параметров отопительного прибора в зависимости от числа секций позволяет легко определить величины K , τ_3 и T для отопительного прибора, состоящего из любого числа секций при известных параметрах одной секции. Для этого необходимо определяемый динамический параметр одной секции умножить на тангенс угла наклона соответствующей прямой и на число секций. Нужно отметить, что тангенс угла наклона зависит от расхода теплоносителя через отопительный прибор.

На рисунке 1.12.1, б показано изменение динамических параметров радиатора М-140 в зависимости от перепада температур теплоносителя. Приведенные графические зависимости позволяют определить динамические параметры радиатора М-140, состоящего из любого числа секций, при любом расходе теплоносителя по известному перепаду его температур.

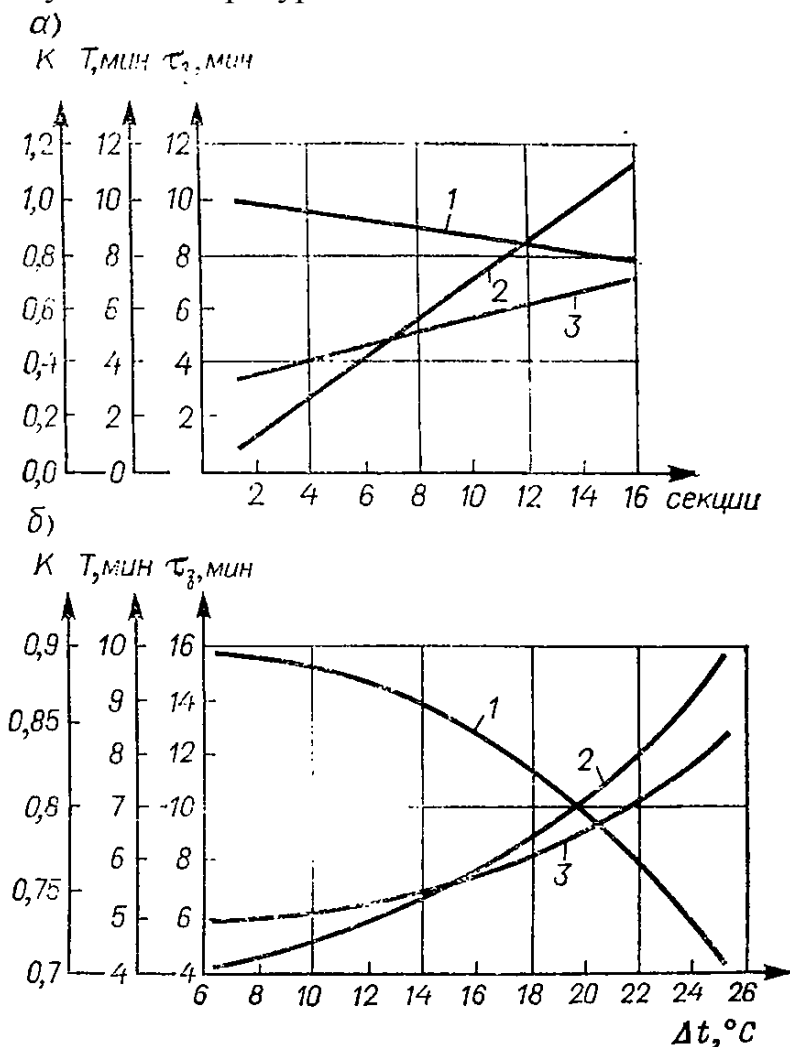


Рисунок 1.12.1 – Изменение диаметрических параметров радиатора М-140 в зависимости от: а – числа секций ($\Delta t = \text{var}, D = \text{const}$): 1 – $K = f(n)$; 2 – $\tau_3 = f(n)$; 3 – $T = f(n)$;
 б – от перепада температур теплоносителя ($D = \text{var}, F = \text{var}$): 1 – $K = f(\Delta t)$;
 2 – $\tau_3 = f(\Delta t)$; 3 – $T = f(\Delta t)$.

Трубопроводы систем отопления по конструкции отличаются только поверхностью нагрева, которая зависит от диаметра трубы и ее длины. Характер изменения динамических параметров трубопроводов систем отопления различных длин и диаметров аналогичен характеру изменения динамических параметров отопительных приборов в зависимости от поверхности нагрева.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что теплоинерционные свойства систем отопления вносят существенную поправку в закон изменения температуры

теплоносителя перед отопительным прибором, что, в свою очередь, оказывает влияние на динамические свойства помещений по каналам регулирующих воздействий. Степень этого влияния зависит от типа системы отопления.

При применении двухтрубных систем отопления закон изменения температуры теплоносителя перед отопительным прибором определяется теплоинерционными свойствами только разводящих трубопроводов систем отопления, а при применении однетрубных систем отопления, кроме того, и типом отопительных приборов. Максимальную поправку к величине постоянной времени отапливаемого помещения по каналу регулирующего воздействия вносят однетрубные горизонтальные проточные системы. Изменение постоянной времени помещения здания серии 11-49-А2 при применении даже таких малоинерционных отопительных приборов, как чугунный радиатор М-140, может составлять 10 % и более.

Присоединение систем отопления к тепловой сети через элеватор или насос приводит к увеличению времени переходного процесса температуры теплоносителя перед отопительными приборами за счет влияния изменяющейся температуры обратной воды. Величина постоянной времени кривой разгона увеличивается с увеличением коэффициента смешения и в пределе стремится к величине постоянной времени системы отопления с независимым присоединением ($u = \infty$). На рисунке 1.12.2 в качестве примера приведены разгонные кривые температуры теплоносителя перед последним отопительным прибором однетрубной системы отопления при различных схемах присоединения ($u = 0, u = 3, u = \infty$). Сопоставление этих кривых показывает, что при переходе от схемы присоединения без подмешивания к независимой схеме присоединения величина постоянной времени увеличивается в 3 раза.

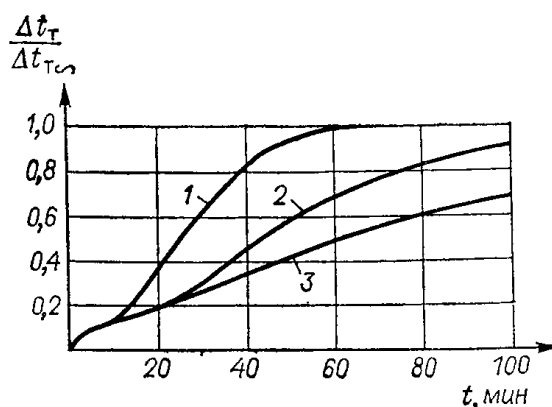


Рисунок 1.12.2 – Кривые разгона температуры теплоносителя перед последним отопительным прибором при возмущении по температуре сетевой воды на абонентском вводе: 1 – система отопления присоединена без подмешивания ($u = 0$); 2 – элеваторное или насосное присоединение системы отопления ($u = 3$); 3 – независимая схема присоединения ($u = \infty$)

1.13 Термодинамические характеристики теплообменных аппаратов и котельных установок

С точки зрения исследования динамических характеристик, применяемых в системах теплоснабжения, теплообменные аппараты могут быть разделены на три группы [3].

В первой группе рассматривается движение по каналу одной жидкости, при этом тепловой поток вдоль поверхности нагрева считается заданным (радиационные поверхности нагрева котла). Ко второй группе относятся теплообменные устройства с постоянной по длине температурой греющего теплоносителя (пароводяные подогреватели), а к третьей – устройства с переменной по длине температурой греющего и нагреваемого теплоносителей (водяные подогреватели, калориферы, конвективные поверхности нагрева котла).

Теплообмен с однофазным потоком теплоносителя является одним из важнейших физических процессов в теплоэнергетике. Вопросы автоматизации тепловых энергетических объектов не могут быть успешно решены без исчерпывающих сведений о динамических особенностях теплообменных систем с однофазным потоком.

Теплообменные устройства состоят, по крайней мере, из трёх взаимосвязанных подсистем – двух движущихся теплоносителей и оболочки между ними, которая пропускает теплоту. Характер взаимодействия с окружающей средой зависит от свойств системы и задается в виде граничных условий. Каждая из рассматриваемых подсистем является трехмерной. Уравнения, описывающие динамику процесса, как правило, нелинейны, а аналитическое решение их в общем виде невозможно, поэтому для их решения вводятся упрощения, направленные на исключение отдельных связей, накладываемых уравнениями и краевыми условиями.

Общепринятыми, как показали экспериментальные исследования, и вполне оправданными для теплообменных аппаратов являются следующие упрощения: отказ от рассмотрения сопутствующих (перекрестных) процессов; пренебрежение членом, определяющим кинетическую энергию потока; замена механизма вязкого трения в управлении движения эмпирической зависимостью, учитывающей сопротивление движению в каналах.

Дальнейшими упрощениям уравнению, принятым подавляющим большинством авторов, является отказ от рассмотрения реальной трехмерности потока. Движение и теплоносителя, и охлаждаемой среды принимается как одномерное. При этом жидкости рассматриваются как гомогенные. Единственная из пространственных координат ориентирована в направлении движения центра масс жидкости.

Как видно из структурной схемы теплообменного устройства с независимым обогревом, приведенной на рис. 1.13.1, входными параметрами является температура

(t_1') и расход (D_1) среды на входе в участок, подвод теплоты к поверхности нагрева (q), а выходной – температура среды на выходе участка (t_1'').

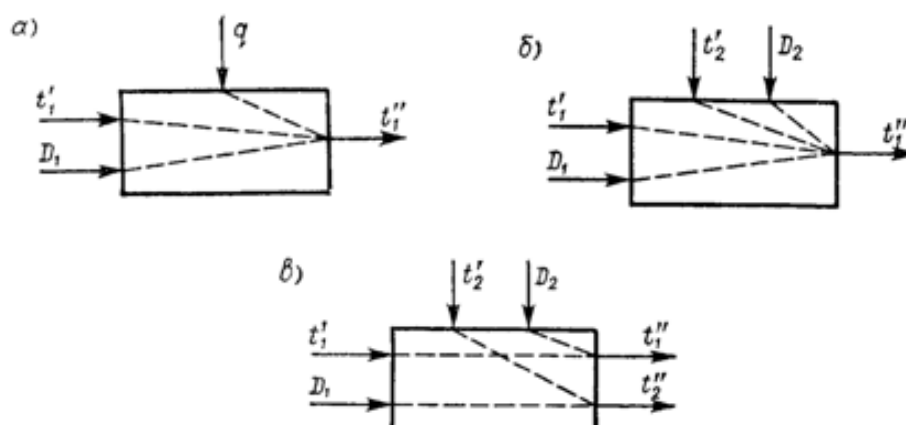


Рисунок 1.13.1 – Структурные схемы: *а* – радиационного теплообменника; *б* – парожидкостного теплообменника; *в* – водо-водяного теплообменника, калорифера.

Передаточные функции по всем каналам связи, полученные в результате решения системы дифференциальных уравнений, приведены в таблице 1.13.1.

Допущения, принимаемые при написании исходных уравнений и их решений, аналогичны допущениям, принимаемым для радиационных теплообменников. Выходными параметрами парожидкостных теплообменников (рисунок 1.13.1) являются температура (t_2') и расход (D_2) греющего теплоносителя, температура (t_1') и расход (D_1) греющегося теплоносителя на входе в теплообменник, а выходным – температура нагреваемого теплоносителя на выходе из теплообменника (t_1''). Результаты решения сведены в табл. 1.13.1.

Анализ общего случая обмена теплотой между двумя потоками значительно сложнее, чем для чистых случаев независимого обогрева и обогрева при постоянном значении температуры одной из жидкостей. Даже без учета (как это делается в большинстве работ) влияние теплоемкости кожуха и потерь тепла через него решению, при условии несжимаемости обеих жидкостей, подлежит система трех дифференциальных уравнений в частных производных.

Таблица 1.13.1 Передаточные функции теплообменных аппаратов и котельных установок

Элемент системы	Канал воздействия	Передаточные функции	Коэффициенты передаточных функций
Радиационные поверхности нагрева котла	Температура теплоносителя на выходе по температуре теплоносителя на входе То же, по тепловому потоку То же, по расходу теплоносителя	$W_{25}(p) = \frac{\Delta t_1''(p)}{\Delta t_1'(p)} = e^{-a_1 \cdot p} \cdot e^{a_2} \times \frac{T_1 \cdot p + T_2}{T_3 \cdot p + 1} \quad (13.1)$ $W_{26}(p) = \frac{\Delta t_1''(p)}{\Delta q(p)} = \frac{b_1}{a_4 \cdot p + 1} [1 - W_{25}(p)] \quad (13.2)$ $W_{27}(p) = \frac{\Delta t_1''(p)}{\Delta D_1(p)} = -\frac{b_2 \cdot 0,2 \cdot a_3 \cdot p + 1}{a_4 \cdot p^2 + p} \times [1 - W_{25}(p)] \quad (13.3)$	$a_1 = \frac{m_1}{D_1}, \quad a_2 = \frac{m_c \cdot c_c}{m_1 \cdot c_1},$ $a_3 = \frac{m_c \cdot c_c}{a_1 \cdot F_1},$ $a_4 = \frac{m_c \cdot c_c \cdot m_1 \cdot c_1}{(m_c \cdot c_c + m_1 \cdot c_1) \cdot a_1 \cdot F_1},$ $b_1 = \frac{F_2}{(m_c \cdot c_c + m_1 \cdot c_1)},$ $b_2 = \frac{(t_2 + t_2) \cdot m_c}{(m_c \cdot c_c + m_1 \cdot c_1)},$ $T_1 = T_3 = \frac{a_3 \cdot a_4 \cdot T_2}{T_2 - 1},$ $T_2 = e^{a_3}$
Пароводяные подогреватели	Температура теплоносителя на выходе по температуре теплоносителя на входе То же, по температуре греющего теплоносителя То же, по расходу теплоносителя То же, по расходу греющего теплоносителя	$W_{28}(p) = \frac{\Delta t_1''(p)}{\Delta t_1'(p)} = e^{-a_1 \cdot p} \cdot e^{-a_2} \times \frac{T_1 \cdot p + T_2}{T_3 \cdot p + 1} \quad (13.4)$ $W_{29}(p) = \frac{\Delta t_1''(p)}{\Delta t_2''(p)} = \frac{b_3}{b_1 p^2 + b_2 p + b_3} [1 - W_{28}(p)] \quad (13.5)$ $W_{30}(p) = \frac{\Delta t_1''(p)}{\Delta D_1(p)} = \frac{b_4 \cdot (1 + b_5 p)}{b_1 p^2 + b_2 p + b_3} \times [1 - W_{28}(p)] \quad (13.6)$ $W_{31}(p) = \frac{\Delta t_1''(p)}{\Delta D_2(p)} = -\frac{b_5}{b_1 p^2 + b_2 p + b_3} \times [1 - W_{28}(p)] \quad (13.7)$	$a_1 = \frac{m_1}{D_{10}}, \quad a_2 = \frac{a_1 \cdot F_1}{D_1 \cdot c_1},$ $a_3 = \frac{a_1 \cdot a_1 \cdot F_1}{1 + a_2 \cdot F_2},$ $a_4 = \frac{m_c \cdot c_c}{a_1 \cdot F_1 + a_2 \cdot F_2},$ $b_1 = \frac{m_1 c_1 m_c c_c}{a_2^2 F_1^2},$ $b_2 = \frac{1}{a_1 F_1} (m_c c_c + m_1 c_1 + m_1 c_1 \frac{a_2 F_2}{a_1 F_1}),$ $b_3 = \frac{a_2 \cdot F_2}{a_1 \cdot F_1},$ $b_4 = \frac{D_1 c_1 t}{a_1 F_1 D_2} \cdot \frac{dt_1}{dx} \cdot (1 + 0,8 \times \frac{a_2 F_2}{a_1 F_1}),$ $b_5 = \frac{0,8 \frac{m_c c_c}{a_1 F_1}}{(1 + 0,8 \frac{a_2 F_2}{a_1 F_1})},$ $b_6 = 0,2 \cdot \frac{c_1 D_1 t}{a_1 F_1 D_2} \cdot \frac{dt_1}{dx},$ $T_1 = T_3 = \frac{a_3 \cdot a_4 \cdot T_2}{T_2 - 1},$ $T_2 = e^{a_3}$

Водоводяные подогреватели, калориферы, конвективные нагреватели котла	Температура нагреваемой среды по температуре на выходе	$W_{32}(p) = \frac{B_1 p^2 + B_2 p + B_3}{A_1 p^3 + A_2 p^2 + A_3 p + A_4} \quad (13.8)$	$A_1 = a_4 \cdot a_5 \cdot a_6;$ $A_2 = a_3 \cdot a_4 \cdot a_5 + [a_5(1 + a_2) + a_1 a_4 + a_4] \cdot a_5 a_4;$
Водоводяные подогреватели, калориферы, конвективные поверхности нагрева котла	<p>Температура нагреваемой среды по температуре греющего теплоносителя</p> <p>То же, по расходу нагреваемой среды</p> <p>То же, по расходу греющего теплоносителя</p> <p>Температура греющего теплоносителя на выходе по температуре на входе</p> <p>То же, по температуре нагреваемой среды</p> <p>То же, по расходу греющего теплоносителя</p> <p>То же, по расходу нагреваемой среды</p>	$W_{33}(p) = \frac{R_c a_5}{A_1 p^3 + A_2 p^2 + A_3 p + A_4} \quad (13.9)$ $W_{34}(p) = \frac{t_1'' - t_1'}{D_{10}} K_{32}(p) \quad (13.10)$ $W_{35}(p) = \frac{t_{32}'' - t_2'}{D_{20}} K_{32}(p) \quad (13.11)$ $W_{36}(p) = \frac{c_1 p + c_2 p + c_3 p}{A_1 p^3 + A_2 p^2 + A_3 p + A_4} \quad (13.12)$ $W_{37}(p) = \frac{a_5}{R_M a_6} K_{33}(p) \quad (13.13)$ $W_{38}(p) = \frac{t_2'' - t_2'}{D_{20}} K_{36}(p) \quad (13.14)$ $W_{39}(p) = \frac{t_1'' - t_1'}{D_{10}} K_{37}(p) \quad (13.15)$	$A_3 = [a_5(1 + a_2) + a_1 a_4 + a_4] \cdot a_3 + [a_1(1 + a_2) + a_2] a_6 + 2a_5 + a_4 + a_1 + a_4;$ $A_4 = [a_1(1 + a_2) + a_2] \cdot a_3 + a_1;$ $B_1 = a_1 a_4 a_6;$ $B_2 = a_1 [a_6(1 + a_2) + a_4 a_3 + a_4];$ $B_3 = a_1 [a_3(1 + a_2) + 1];$ $c_1 = a_3 a_4 a_5;$ $c_2 = a_3 [a_5(1 + a_2) + a_1 a_4 + a_4];$ $c_3 = a_6 [a_1(1 + a_2) + a_3];$ $a_1 = \frac{D_{10} c_1}{a_{10} F_1}, \quad a_2 = \frac{a_2 \cdot F_2}{a_{10} \cdot F_1}$ $a_3 = \frac{D_{10} \cdot c_3}{a_{20} \cdot F_2};$ $a_4 = \frac{m_c \cdot c_c}{a_{10} \cdot F_1};$ $a_5 = \frac{m_1 \cdot c_1}{a_{10} \cdot F_1};$ $a_6 = \frac{m_2 \cdot c_2}{a_{20} \cdot F_2};$

При аналитическом исследовании динамики водоводяных теплообменников и калориферов принимаются следующие допущения: температура металла труб по радиусу постоянна; теплообмен между наружной стенкой и окружающей средой отсутствует; теплосодержание среды является линейной функцией температуры; давление среды в стационарном и нестационарном режимах постоянно.

Входными параметрами (см. рисунок 1.13.1) являются температуры (t'_1, t'_2) и расходы (D_1, D_2) теплоносителей на входе в теплообменное устройство, а выходными – температуры теплоносителей на выходе (t''_1, t''_2). Результаты решения систем дифференциальных уравнений приведены в таблице 1.13.1.

1.14 **Динамические характеристики систем кондиционирования воздуха и вентиляции**

Основными элементами установок теплоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха являются различные теплообменные и смесительные аппараты: емкие и скоростные водонагреватели, отопительные приборы, воздухонагреватели и воздухоохладители, оросительные камеры, смесительные камеры, водоструйные элеваторы и др. Динамика тепловых процессов, протекающих в этих аппаратах, определяется большим числом параметров, связанных с конструкцией аппаратов, условиями теплообмена на поверхностях теплообменников, температурой обменивающихся теплом сред, расходом теплоносителя, источниками и стоками тепла при фазовых превращениях и другими физическими процессами [5].

В связи с этим динамические характеристики многих теплообменных и смесительных аппаратов еще не разработаны в том виде, который позволил бы универсально использовать их на практике. Для анализа динамики разных типов теплообменных и смесительных аппаратов широко пользуются методами экспериментальных исследований.

Существуют два подхода к теоретическому исследованию теплообменных аппаратов, рассматривая их как объекты с сосредоточенными и распределенными параметрами.

Теплообменные аппараты являются объектами с распределенными параметрами, и их динамика описывается дифференциальными уравнениями в частных производных. Во многих случаях оказывается достаточным для инженерных расчетов использование приближенной математической модели аппарата как объекта с сосредоточенными параметрами. Динамические характеристики при этом могут быть получены по экспериментальным данным или по теоретической зависимости переходного процесса, если динамика объекта описывается дифференциальным уравнением порядка выше первого.

Рассмотрим динамику теплообменных аппаратов как объектов с сосредоточенными параметрами на основе решения системы линейных дифференциальных уравнений.

Наиболее сложным с точки зрения описания динамики тепловых процессов объектом регулирования являются **оросительные камеры установок**

кондиционирования воздуха. Принципиальная схема оросительной камеры, работающей в режиме адиабатического увлажнения, представлена на рисунке 1.14.1.

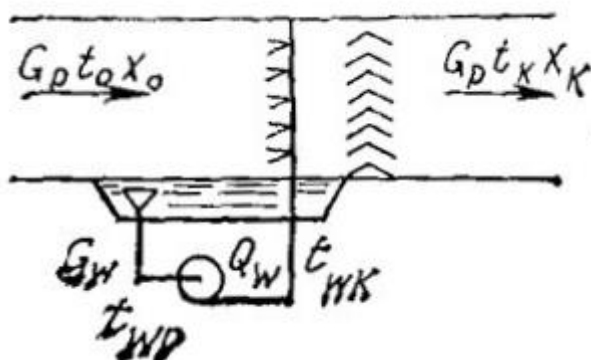


Рисунок 1.14.1 – Принципиальная схема камеры орошения

В сложном процессе тепломассообмена в камере часть разбрызгиваемой воды испаряется и уносится потоком воздуха. Большая часть воды собирается в поддоне камеры, откуда насосом вновь подается к форсункам. При рассмотрении динамики процесса тепломассообмена в камере за входную величину принимают температуру воздуха t_0 на входе в камеру. Выходной величиной в этом случае является влагосодержание d_k воздуха, выходящего из камеры.

Для малых отклонений от статического состояния можно составить систему дифференциальных уравнений, включающую переменные во времени z величины. В установившемся состоянии температура воды t_w постоянна, а при изменении температуры воздуха t происходит и изменение температуры воды. Расход теплоты, отдаваемой воздухом воде и необходимой для изменения температуры и испарения части воды, описывается уравнением вида

$$\begin{aligned}
 & G_W c_W - [\Delta t_{W_k}(z) - \Delta t_{W_0}(z) + \\
 & + r W F_W \left(\frac{\Delta d_0^H(z) + \Delta d_k^H(z)}{2} + \frac{\Delta d_k(z)}{2} \right)] = \\
 & = \alpha F_W \left(\frac{\Delta t_0(z) + \Delta t_k(z)}{2} - \frac{\Delta t_{W_0}(z) + \Delta t_{W_k}(z)}{2} \right) \quad (14.1)
 \end{aligned}$$

где G_W – расход воды, кг/ч; c_W – удельная теплоёмкость воды, Дж/(кг · °С),
 r – теплота испарения воды, Дж/кг;
 W – интенсивность влагообмена, кг/(м² · ч);
 α – коэффициент теплообмена на поверхности распыленной воды, Вт/(м² · °С);
 F_W – площадь поверхности распылённой воды, м².

Левая часть уравнения (14.1) определяет изменение энтальпии (теплосодержания) воды при изменении ее температуры t_{W_0} и влагосодержания d_0 на входе и t_{W_k} и d_k на выходе на величины Δt_W , Δd . Правая часть соответствует

изменению количества теплоты, отдаваемой воздухом воде при изменении температуры воздуха на входе в камеру t_0 на величину Δt_0 и на выходе на величину Δt_k при соответствующем изменении температуры воды на величины Δt_{W_0} и Δt_{W_k} .

Процесс накопления теплоты в воде в связи с изменением температуры описывается дифференциальным уравнением

$$G_W c_W [\Delta t_{W_k}(z) - \Delta t_{W_0}(z)] = M c_W \frac{d\Delta t_{W_0}(z)}{dz}, \quad (14.2)$$

где M – масса воды, кг.

Изменение температуры и влагосодержания воздуха характеризуется уравнениями

$$\begin{aligned} \alpha F_W \left(\frac{\Delta t_0(z) + \Delta t_k(z)}{2} - \frac{\Delta t_{W_0}(z) + \Delta t_{W_k}(z)}{2} \right) = \\ = G_B c_B (\Delta t_0(z) - \Delta t_k(z)); \end{aligned} \quad (14.3)$$

$$W F_W \left(\frac{\Delta d_0^H(z) + \Delta d_k^H(z)}{2} - \frac{\Delta d_k(z)}{2} \right) = G_B c_B \Delta d_k(z) \quad (13.4)$$

где G_B – расход воздуха, кг/ч;

c_B – удельная теплоёмкость воздуха Дж/(кг·°С).

Влагосодержание воздуха d^H при полном насыщении ($\varphi = 1$) соответствует парциальному давлению водяного пара при температуре t_W . Для малых приращений температуры зависимость d^H от t_W может быть линеаризована в виде $\Delta d^H / \Delta t'_W = a$.

Решение системы уравнений (14.1) – (14.4) с использованием преобразования Лапласа позволяет получить выражение для передаточной функции камеры орошения в операторной форме

$$W_{t_0} = K \frac{1 + T_1 P}{1 + T_2 P},$$

которое подстановкой $P = \omega i$ преобразуется в частотную характеристику объекта регулирования

$$W_{t_0} = K \frac{1 + T_1 \omega i}{1 + T_2 \omega i},$$

где

$$\begin{aligned} K = \frac{1}{\left(\frac{1}{a} + \frac{r}{c_B}\right) \left(0,5 + \frac{G_B c_B}{\alpha F_W}\right)}; \\ T_1 = \frac{M_W}{2 G_W}; \end{aligned}$$

$$T_2 = \frac{M_W}{2G_W} \cdot \frac{A}{A-1};$$

$$A = \frac{G_B c_B}{G_W c_W} \cdot \frac{1 + \frac{ar}{c_B}}{2 \frac{G_B c_B}{\alpha F_W} + 1}.$$

Помимо оросительных камер основными технологическими аппаратами СКВ являются **воздухонагреватели и воздухоохладители.**

С точки зрения анализа динамических свойств этого звена, работа теплообменника в режиме нагрева или охлаждения воздуха существенного значения не имеет, динамическая характеристика теплообменника не подвергается существенному изменению и в том случае, если он работает как осушитель воздуха.

Рассмотрим частотные характеристики наиболее часто употребляемых ребристых теплообменников. На рисунке 1.14.2 показана принципиальная схема трубчатого теплообменника с теплоносителем паром и выделены параметры, в основном определяющие динамические свойства теплообменника.

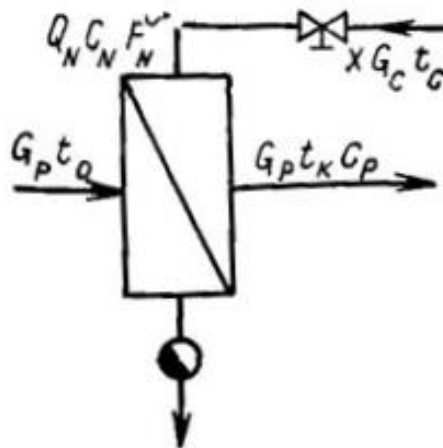


Рисунок 1.14.2 – Принципиальная схема парового воздухонагревателя

Количество теплоты, передаваемой теплоносителем воздуху, регулируется изменением расхода пара, которое осуществляется в клапане 1 на паропроводе. Входной величиной x в рассматриваемой схеме является высота подъема штока клапана на паропроводе, а выходной — температура воздуха t_k на выходе из теплообменника.

Для упрощения исходного дифференциального уравнения воспользуемся традиционным в технике автоматического регулирования приемом линеаризации уравнения при малых отклонениях параметров. Этот прием позволяет, например, принять линейной зависимость расхода пара G_T от переменной во времени высоты подъема штока клапана

$$G_T(z) = mx(z),$$

где G_T – расход теплоносителя (пара), кг/ч;

x – высота подъема штока клапана, мм;

m – коэффициент пропорциональности, кг/(ч·мм).

Приняв температуру пара средней по ходу его в теплообменнике t_T и исходя из среднеарифметической разности температуры, получим уравнения теплового баланса при изменении параметров теплоносителя на некоторую величину Δt_T и ΔG_T .

Уравнение процесса передачи теплоты воздуху имеет вид

$$G_B c_B \Delta t_K(z) = kF \left(\Delta t_T(z) - \frac{\Delta t_K(z)}{2} \right).$$

Уравнение процесса накопления теплоты массой теплообменника при изменении расхода теплоносителя запишем в виде Δt_T и ΔG_T и применив преобразование баланса, получим передаточную функцию теплообменника в операторной форме, которую преобразуем в амплитудно- фазовую частотную характеристику:

$$W_x = K \frac{1}{1+T\omega i}. \quad (14.5)$$

Коэффициент усиления K равен:

$$K = \frac{mr}{G_B c_B},$$

а постоянная времени T имеет вид

$$T = \frac{M_T c_T}{G_B c_B} \left(\frac{1}{2} + \frac{G_B c_B}{kF} \right),$$

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

F – площадь поверхности теплообменника, м²;

M_T – масса теплообменника, кг;

c_T – удельная теплоемкость материала теплообменника, Дж/(кг·°С);

t_K – температура воздуха на выходе из теплообменника, °С.

Передаточная функция (14.5) характерна для инерционного звена 1-го порядка. Исследования динамических свойств теплообменных аппаратов показывают, что их передаточные функции могут быть аппроксимированы более точно звеном 1-го порядка с запаздыванием. В такой постановке уравнение частотной характеристики теплообменника будут иметь вид:

$$W_x = K\omega \frac{1}{1+0,5T\omega t} e^{-T_0\omega t},$$

где T_0 – время запаздывания нагревателя, определяемое экспериментально.

Следует отметить, что при исследовании динамики воздухонагревателя как объекта с распределенными параметрами появляется возможность аналитического определения времени запаздывания, что повышает достоверность передаточной функции.

Регулирование температуры приточного воздуха возможно помимо изменения расхода и температуры теплоносителя изменением расхода воздуха, проходящего в обвод теплообменника. При таком способе регулирования предусматривается безынерционный процесс смешивания двух потоков воздуха. Частотная характеристика такого звена определяется уравнением

$$W = K.$$

Коэффициент усиления выражает, например, отношение величины изменения влажности воздуха Δd к изменению угла поворота лопаток клапана $\Delta\beta$:

$$K = \Delta d / \Delta\beta.$$

Приведенные зависимости, характеризующие динамические свойства основных элементов установок кондиционирования воздуха, получены аналитическим путем на основе упрощенного представления физических процессов, протекающих в объектах регулирования. Использование экспериментальных способов определения

1.15 Статические характеристики насосов, вентиляторов, регулирующих органов

В системах ТГС и СКМ для перемещения различных жидкостей и газов широко применяются насосы, вентиляторы (дымососы), компрессоры и другие нагнетатели.

Насосы предназначены для перемещения жидкостей и сообщения им энергии. В насосе механическая энергия, подводимая от двигателя (чаще всего электрического), превращается в потенциальную кинетическую и тепловую энергию потока жидкости.

Вентиляторы (дымососы) перемещают газовые среды при степени повышения давления (отношении давления газа на выходе к давлению его на входе) до 1,15.

Компрессоры – установки с искусственным (обычно водяным) охлаждением – обеспечивают степень повышения давления газа более 1,15. Установки, создающие степень повышения давления газа более 1,15, но без искусственного охлаждения, называются нагнетателями [5].

При автоматизации систем ТГС применяются также гидравлические двигатели, в которых гидравлическая энергия потока жидкости превращается в механическую.

Характеристики насосов. В системах теплоснабжения в качестве сетевых циркуляционных, подкачивающих, смесительных и подпиточных насосов применяются центробежные насосы различных типов. Насосы рассчитаны на работу с определенной частотой вращения вала рабочего колеса. Допускается работа насосов с пониженной частотой вращения, а увеличение ее обязательно должно быть согласовано с заводом-изготовителем.

Требуемую мощность N , кВт, на валу электродвигателя насоса определяют по формуле

$$N = \frac{G H \gamma}{3600 * 102 \eta_{\text{п}} \eta'}$$

где GH – расход и напор насоса;

γ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м^3 ;

$\eta_{II} \approx 0,98$ – КПД передачи;

η – КПД насоса, определяемый по его характеристике.

Установочная мощность электродвигателя равна:

$$N_y = k \cdot N,$$

где k – коэффициент запаса мощности. При мощности насосов до 50 кВт $k = 1,2 \div 1,3$; выше 50 кВт $k = 1,1 \div 1,2$.

Основная задача регулирования насоса – подача в сеть расхода в соответствии с определенным графиком. При этом, как показывают характеристики, все основные параметры (H, N, η) имеют тенденцию изменяться. Некоторые параметры насосов находятся в зависимости от характеристик сети трубопроводов и требований потребителей. Насосы, обеспечивая заданный график подачи расходов воды, должны создавать переменное давление в соответствии с требованиями потребителей и в зависимости от гидравлических параметров системы трубопроводов.

Возможны различные варианты регулирования подачи.

Дроссельное регулирование при $n = \text{const}$, достигаемое введением дополнительного гидравлического сопротивления в сеть трубопроводов путем установки регулирующего дросселя. Поскольку наибольшая подача обеспечивается при полностью открытом дросселе, такое регулирование применяют только с целью уменьшения подачи. При дросселировании уменьшается мощность на валу насоса и вместе с тем повышается доля энергии, расходуемой при регулировании. Энергетическая эффективность такого регулирования насоса низкая, однако ввиду простоты этот способ получил широкое распространение.

Регулирование изменением частоты вращения вала насоса применяется в тех случаях, когда можно изменять частоту вращения вала двигателя. Этим способом возможно регулирование подачи в любом направлении. Так как нет потерь энергии, обусловленных гидравлическим сопротивлением дросселя, этот способ регулирования эффективнее дроссельного. Для изменения частоты вращения вала насоса применяют специальные электроприводы, вариаторы и гидравлические муфты. При использовании вариаторов и муфт переменная частота вращения вала достигается изменением передаточного отношения вариатора или гидромуфты при постоянной частоте вращения вала двигателя.

Регулирование направляющим аппаратом на входе в рабочее колесо насоса осуществляется путем изменения условий входа жидкости на рабочие лопасти насоса. Закручивание потока, поступающего на рабочее колесо, влияет на напор и при заданной характеристике трубопровода изменяет подачу насоса. Направляющие

аппараты необходимо располагать в непосредственной близости от входа в колесо, что обеспечивает эффективное регулирование.

Изменение подачи насоса в большинстве случаев сопровождается изменением его КПД. Отклонение КПД от максимального значения (регламентируемого ГОСТ) тем значительнее, чем глубже регулирование. Работа насоса с низким КПД невыгодна. Допускается снижение КПД на 7% максимального. Насосы целесообразно подбирать не по обычным характеристикам, а по характеристикам, построенным с учетом допустимого снижения КПД. На этих характеристиках выделяются участки с допустимым КПД, называемые полем характеристик. Поля характеристик при различных способах регулирования насосов различны.

В насосных системах могут возникать изменения режимов, обусловленные срывом потока с лопастей (при дроссельном регулировании до малых расходов), резким изменением частоты вращения вала насоса (при изменении частоты тока в электрической сети), быстрым изменением расходов со стороны потребителей и т. д. При таких возмущениях система выходит из равновесия и отмечается неустойчивая ее работа – самопроизвольные колебания подачи, давления и мощности. При определенных условиях эти случайные возмущения вызывают колебания с возрастающей амплитудой, устойчивость не восстанавливается и в системе возникают автоколебания – помпаж, который сходен с явлением резонанса при колебаниях механических систем. Неустойчивость и помпаж опасны ввиду резкого, толчкообразного повышения давления в потоке и соответственно увеличения напряжений в рабочих частях системы.

Характеристики вентиляторов – зависимости напоров, мощности на валу и КПД от объемной подачи воздуха – устанавливаются непосредственным испытанием их при постоянной частоте вращения рабочего колеса и плотности воздуха $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Широко используются как размерные, так и безразмерные, общие для целой серии, характеристики вентиляторов. Регулирование подачи вентиляторов осуществляется теми же способами, что и регулирование насосов.

По своим **динамическим свойствам** насосы, вентиляторы и компрессоры относятся к апериодическим звеньям, постоянная времени которых определяется соотношением вращающейся массы к электрической мощности двигателя. Инерционность насосов, вентиляторов и компрессоров достаточно мала в сравнении с инерционностью уже рассмотренных элементов систем ТГС и С КМ, поэтому ею можно пренебречь и считать насосы, вентиляторы и компрессоры практически безынерционными установками.

Основными регулирующими дроссельными органами являются шиберы и поворотные заслонки (для регулирования расхода газа) или дроссельные клапаны (для жидкостей, пара и др.). Расход среды через регулирующий орган изменяется при

изменении площади проходного сечения и перепада давления на регулирующем органе. Зависимость между площадью проходного сечения S и ходом y регулирующего органа представляет собой его **конструктивную** (внутреннюю) характеристику. Для шиберов и поворотных заслонок (непрофилируемых регулирующих органов) эта зависимость (рисунок 1.15.1) имеет вполне определенный характер и изменить ее нельзя.

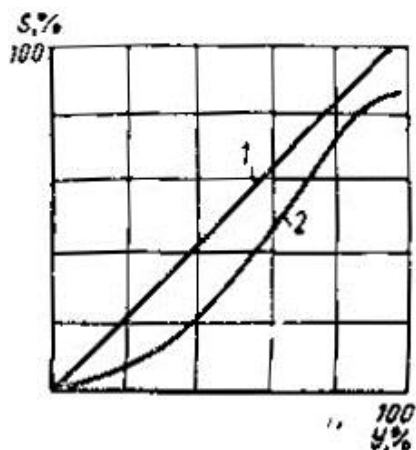


Рисунок 1.15.1 – Конструктивные характеристики непрофилируемых дроссельных органов
1 – прямоугольного шибера,
2 – поворотной заслонки

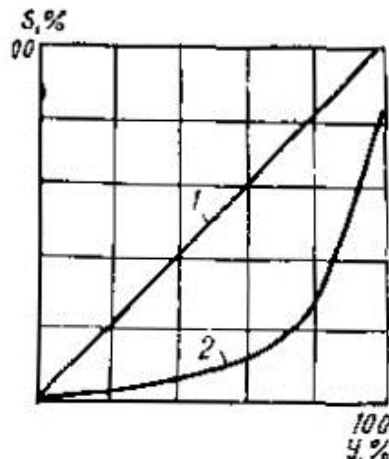


Рисунок 1.15.2 – Линейная (1) и экспоненциальная (2) конструктивные характеристики профилируемых дроссельных органов (клапанов)

Дроссельные клапаны (профилируемые регулирующие органы) выпускают с конструктивными характеристиками двух типов: линейной и экспоненциальной (рисунок 1.15.2).

У дроссельных клапанов с линейной характеристикой площадь проходного сечения $S=Cy$, у клапанов с экспоненциальной характеристикой $S=Ce^y$. Эту характеристику называют также «равнопроцентной» или «постояннопроцентной», так как при всех значениях y относительная величина приращения площади $\frac{1}{S} \frac{dS}{dy}$ постоянна.

Для регулирующего воздействия на поток жидкости или газа, находящихся под значительным давлением при небольших диаметрах трубопровода, может быть применен односедельный клапан (рисунок 1.15.3,а). Усилие, создаваемое клапаном, зависит от его диаметра и положения (расстояния от седла). В полностью закрытом состоянии клапан создает усилие

$$p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \Delta p_{p,0},$$

где d — диаметр клапана; $\Delta p_{p,0}$ — максимальная разность давления до и после

клапана.

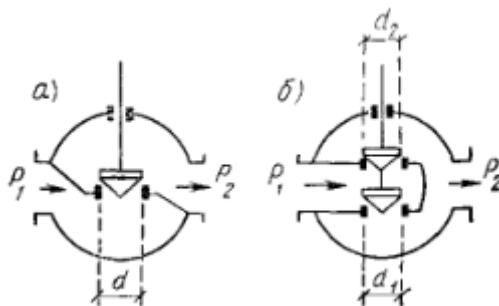


Рисунок 1.15.3 – Принципиальные схемы односедельного (а) и двухседельного(б) регулирующих дроссельных клапанов

При больших диаметрах и больших давлениях усилие, необходимое для полного закрытия клапана, которое создается исполнительным механизмом, должно быть весьма значительным. С целью уменьшения усилия применяют двухседельные клапаны (рисунок 1.15.3,б). Поскольку диаметры седел клапанов d_1^2 и d_2^2 почти равны, а усилия, которые создаются каждым клапаном, прямо противоположны по направлению, для закрытия двухседельных клапанов требуется значительно меньшее усилие

$$p = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2) \cdot \Delta p_{p.o.},$$

т.е. он оказывается разгруженным. Недостатком двухседельных клапанов является их негерметичность.

Эффективность работы регулирующего органа, установленного на сети, определяется его статической характеристикой. Основным условием выбора статической характеристики регулирующего органа является постоянство коэффициента передачи объекта (сети) при любых изменениях нагрузок.

Статические (внешние, рабочие или расходные) характеристики регулирующих органов подобны их конструктивным характеристикам только при постоянном перепаде давления. Фактические статические характеристики зависят от условий установки регулирующих органов: от соотношения перепада давления на регулирующем органе $\Delta p_{p.o.}$ и общего перепада давления $\Delta p_{p.l.}$ в линии (сети), где расположен регулирующий орган. Это соотношение перепадов изменяется не только при установке регулирующего органа на разных линиях, но и при изменении степени его открытия: по мере открывания перепад $\Delta p_{p.o.}$ падает, а сопротивление линии $\Delta p_{p.l.}$ в связи с увеличением расхода возрастает.

Требуемая статическая характеристика регулирующего органа обеспечивается при соответствующем $\xi_{\text{л}}$ (см. рисунок 1.15.4).

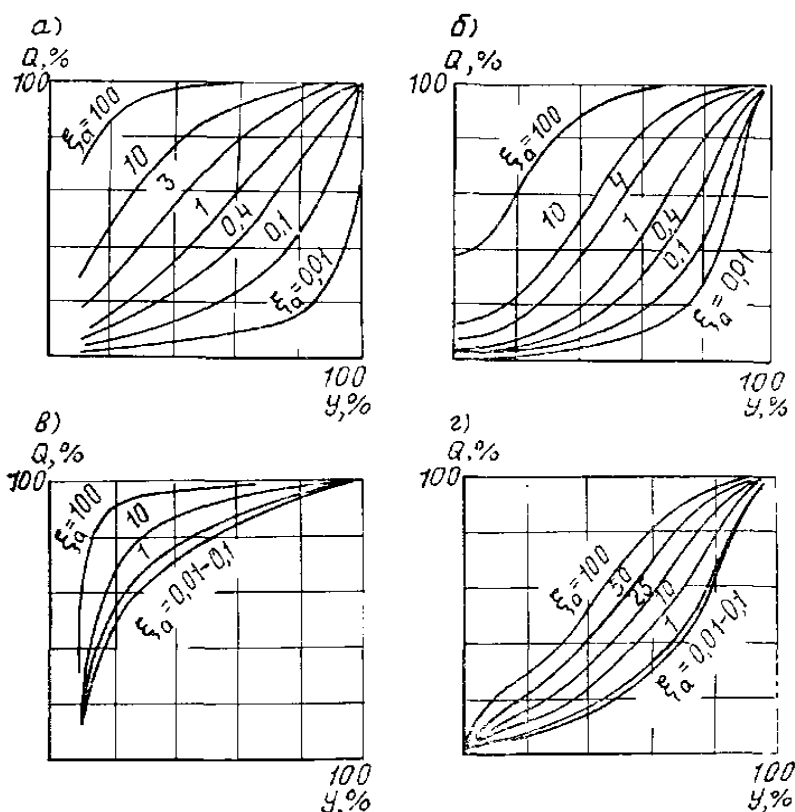


Рисунок 1.15.4 – Статические (расходные) характеристики квадратного шибера (а), круглой поворотной заслонки (б), двухседельного клапана с линейной конструктивной характеристикой (в) и экспоненциальной конструктивной характеристикой (г).

Величина $\xi_{\text{л}}$ зависит от площади проходного сечения регулирующего органа $F_{p.o.}$ при максимальном расходе регулирующей среды G .

Конструктивная характеристика квадратного шибералинейна, а реальные статические характеристики могут быть весьма разнообразными. Так, при $\xi_{\text{л}} = 1$ статическая характеристика квадратного шиберы очень близка к линейной с постоянным коэффициентом передачи. При $\xi_{\text{л}} = 0,01 \div 0,1$ можно получить характеристики со значительно увеличивающимся по мере открывания (следовательно, по нагрузке) коэффициентом передачи регулирующего органа.

Статическая характеристика круглой поворотной заслонки может быть линейной лишь в ограниченном диапазоне хода $y = 30-70\%$. При $\xi_{\text{л}} = 0,01 \div 0,1$ можно получить статические характеристики с коэффициентом передачи, увеличивающимся в 10-15 раз при переходе от минимальной к максимальной степени открытия. В обоих случаях при $\xi_{\text{л}} = 1$ коэффициент передачи регулирующего органа по мере увеличения y , т.е. нагрузки, сначала (при $y < 10-20\%$) возрастает, а затем (при $y > 30\%$) резко падает. Регулирующие органы с такими характеристиками обычно не пригодны для устройств с широким диапазоном изменения нагрузок (например,

воздухонагревателей систем вентиляции и кондиционирования воздуха).

Статические характеристики двухседельного клапана (смотри рисунок 1.14.4) с линейной конструктивной характеристикой даже при $\xi_{\text{л}} = 0,01$ неблагоприятны, так как коэффициент передачи регулирующего органа с увеличением нагрузки падает, что сужает допустимый диапазон регулирования. Если конструктивная характеристика клапана экспоненциальная, его статические характеристики близки к линейной (смотри рисунок 1.15.4). Так, при $\xi_{\text{л}} = 0,1-1,0$ коэффициент передачи клапана может быть увеличен в 15 раз при переходе от $y: 10$ к $y=90\%$. При $\xi_{\text{л}}=25-50$ статическая характеристика клапана практически линейна в широком диапазоне нагрузок ($y=10-80\%$).

Приведенные зависимости справедливы и при работе регулирующего органа в условиях переменного перепада давления при его открытии (закрытии). В отдельных случаях могут быть установлены автоматические регуляторы, поддерживающие постоянный перепад на регулирующем органе. Тогда статическая характеристика регулирующего органа совпадает с его конструктивной характеристикой.

При необходимости статические характеристики регулирующих органов можно изменить применением специальных кинематических устройств между исполнительным механизмом и регулирующим органом; характеристики профилируемых регулирующих органов можно изменить путем изменения профиля клапана.

1.16 Способы организации регулирования расхода теплоты

Индивидуальное регулирование теплоотдачи нагревательных приборов, дополняющее центральное и местное регулирование, позволяет учитывать специфические условия различных помещений, дает возможность потребителю самому устанавливать необходимую температуру в помещении в соответствии с индивидуальными запросами [3].

Индивидуальное регулирование может осуществляться с помощью как ручных кранов, так и автоматических регуляторов.

Применение автоматических регуляторов позволяет наиболее успешно решать задачу обеспечения требуемого температурного режима в каждом отдельном помещении. Перечень основных факторов, вызывающих необходимость индивидуального управления отпуском теплоты, приведен в таблице 1.16.1.

В ряде случаев вместо установки терморегуляторов у нагревательных приборов систем водяного отопления оказывается целесообразным применение комнатных электрических доводчиков с автоматическими регуляторами температуры воздуха. Система водяного отопления при этом может рассчитываться на базовую нагрузку, соответствующую пониженной расчетной температуре внутреннего воздуха (например, 12°C). Пиковые расходы теплоты покрываются с помощью электрических

доводчиков, которые позволяют также регулировать внутреннюю температуру в помещениях по желанию потребителей.

Таблица 1.16.1. Основные факторы, вызывающие необходимость индивидуального управления отпуском теплоты

Классы факторов	Факторы
Возмущающие воздействия на температуру воздуха в отапливаемых помещениях	<ol style="list-style-type: none"> 1.Бытовые и технологические тепловыделения 2.Воздействие солнечной радиации 3.Влияние ветра и фильтрации наружного воздуха под действием теплового напора
Несоответствие статических и динамических характеристик отапливаемых помещений режиму подачи теплоты в здание	<ol style="list-style-type: none"> 1.Несоответствие фактических тепловых потерь помещений (в статике) проектным потерям теплоты 2.Неодинаковая теплоаккумулирующая способность различных помещений 3.Неодинаковые соотношения быстрых и медленных тепловых потерь в различных помещениях
Дефекты и неточности расчета систем отопления, монтажная и эксплуатационная регулировка	<ol style="list-style-type: none"> 1. Несоответствие площади поверхности нагревательных приборов требуемой 2.Несоблюдение (по отдельным приборам) требуемых температур и расходов воды
Возможность изменения температуры в помещении по желанию потребителей	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неодинаковые комфортные температуры воздуха для разных людей и различных условий их пребывания в помещениях (легкая и тяжелая работа, отдых, сон) 2. Различные технологические требования в зданиях производственного назначения

Как показывает зарубежный опыт, применение индивидуальных терморегуляторов весьма эффективно в системах воздушного отопления и в воде-воздушных системах с вентиляторными подоконными доводчиками. Важное эксплуатационное преимущество индивидуального терморегулирования в этих системах заключается в быстром изменении температуры в помещении при изменении величины настройки (задания) прибора.

Расчеты температурного режима помещений при индивидуальном автоматическом регулировании могут быть выполнены на основе решения уравнений нестационарного теплообмена. Результаты этих расчетов позволяют определить необходимые параметры терморегуляторов для различных условий: для объектов, отличающихся по тепловой устойчивости помещений, тепловой емкости нагревательных приборов, характеру возмущающих воздействий, требуемой точности регулирования и т.д.

При составлении расчетной структурной схемы автоматизированной системы надо учитывать следующую принципиальную особенность индивидуального регулирования. Так как температура настройки терморегуляторов в различных

помещениях неодинакова, происходит перетекание теплоты через внутренние ограждения зданий. В связи с этим внутренние ограждения (перегородки, междуэтажные перекрытия) в данном случае следует рассматривать не только как тепловые емкости, но и как каналы переноса тепловой энергии. Соответственно должны описываться и динамические характеристики этих элементов. Как показали исследования, перенос теплоты через внутренние ограждения существенно снижает потенциально возможную глубину индивидуального регулирования.

Основные факторы, вызывающие необходимость промежуточных ступеней управления, приведены в таблице 1.16.2. Влияние этих факторов приводит к несоответствию между значениями параметров, устанавливаемых на источнике тепловой энергии (ТЭЦ, районная котельная), и теми значениями, которые необходимо поддерживать в месте нахождения данной ступени управления.

В связи с этим функциональные задачи, решаемые в автоматизированных СЦТ каждой из промежуточных ступеней управления, заключаются прежде всего в корректировке режимов отпуска теплоты, устанавливаемых предыдущими ступенями, с учетом особенностей объекта, охватываемого данной ступенью.

Автоматическое управление отпуском теплоты на рассматриваемых объектах может производиться по отклонению регулируемой величины, по возмущению и путем комбинирования этих методов.

В первом случае датчики, измеряющие температуру внутреннего воздуха, устанавливаются в одном или нескольких отапливаемых помещениях и приводят в действие регулятор при отклонении этой температуры от установленного значения. Для осуществления программного регулирования датчики оборудуются специальным устройством, связанным с часовым механизмом.

При регулировании по возмущению датчики устанавливаются снаружи здания и измеряют значения метеорологических параметров. Использование этого метода требует соблюдения условия инвариантности объекта теплоснабжения (системы отопления) по отношению к внешним возмущениям.

Таблица 1.16.2. Основные факторы, вызывающие необходимость промежуточных ступеней управления

Классы факторов	Факторы
Несоответствие требований к режимам функционирования теплового источника, тепловых сетей и потребителей теплоты	<ol style="list-style-type: none"> 1. Резкопеременный характер теплопотребления 2. Недопустимость частых и резких изменений режимов работы теплосилового оборудования ТЭЦ и районных котельных 3. Зависимость режима работы ТЭЦ от режима электроэнергетической системы
<p>Неоднородный характер и режим теплопотребления</p> <p>Несоответствие статических характеристик систем отопления режиму центрального регулирования расхода теплоты</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Невозможность осуществления центрального регулирования по отопительному графику во всем диапазоне тепловых нагрузок 2. Различные оптимальные режимы программного отпуска теплоты для зданий разного назначения (жилые, общественные, промышленные здания)
<p>Неодинаковые динамические характеристики отапливаемых зданий, абонентских систем отопления и участков тепловой сети до данного потребителя</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неодинаковые расчетные значения температур воздуха в отапливаемых зданиях (жилые дома, школы, детские сады, больницы, магазины, промышленные здания и пр.) 2. Неодинаковые значения расчетных температур наружного воздуха (здания различной массивности)
<p>Неодинаковые величины внешних возмущений</p>	<ol style="list-style-type: none"> 3. Несоответствие поверхности нагрева приборов, установленных в здании 4. Неодинаковое охлаждение воды в трубопроводах при транспорте теплоносителя до различных зданий
<p>Влияние возмущений на регулируемую величину (температуру и расход теплоносителя). действующих между источником теплоты и данной ступенью управления</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разная тепловая устойчивость зданий 2. Неодинаковые динамические характеристики систем отопления (конвекторных, радиаторных, панельно-лучистых) 3. Разные величины транспортного запаздывания в тепловой сети (до данного здания) 1. Неодинаковые значения температур наружного воздуха в различных точках района теплоснабжения 2. Различное воздействие солнечной радиации и ветра 1. Работа установок с технологической нагрузкой и горячего водоснабжения 2. Работа установок приточной вентиляции и кондиционирования воздуха 3. Переключения в тепловой сети

В современных многоэтажных зданиях даже при хорошо отрегулированной системе отопления наблюдается значительный разброс температур воздуха в отапливаемых помещениях, намного превышающий допустимую точность

регулирования. В связи с этим выбор представительных помещений с целью сведения к минимуму влияния случайных, локальных факторов на процесс управления представляет большие трудности. Увеличение же с этой целью общего количества датчиков – контрольных помещений приводит к удорожанию автоматики, усложнению ее обслуживания и снижению надежности.

Система автоматического управления по отклонению внутренней температуры обладает неблагоприятными динамическими характеристиками, поскольку замкнутый контур регулирования содержит в данном случае звено с большой инерционностью – отапливаемое здание.

В случае охвата ступенью управления целого ряда зданий (ЦТП, КРП) негативное влияние указанных обстоятельств (разброс температур в помещениях, большая инерционность контура регулирования) при регулировании по отклонению еще более возрастает.

Достоинство автоматического управления по возмущению состоит в том, что оно производится по основным факторам, определяющим режим теплоснабжения зданий (температура наружного воздуха, скорость ветра, солнечная радиация). Влияние локальных, случайных факторов на температуру воздуха в том или ином помещении на процесс управления исключается. При управлении по возмущению система обладает хорошими динамическими свойствами, так как в контур регулирования не входит отапливаемое помещение. При этом регулятор начинает выполнять свою задачу еще до того, как возмущающее воздействие проникло в отапливаемое помещение и вызвало в нем отклонение регулируемой величины – температуры воздуха – от заданного значения.

Недостаток этого метода заключается в том, что регулятор реагирует только на те возмущения, которые оцениваются соответствующими датчиками и заложены в закон управления.

Учитывая многообразие возмущений, действующих в системе теплоснабжения, и особенности этой системы как объекта управления, становятся очевидными те трудности принципиального характера, которые возникают при применении рассматриваемого метода управления.

Необходимо отметить, что автоматическая разомкнутая система управления по возмущению в «чистом» виде не получила применения в практике теплоснабжения и отопления.

Наиболее распространенная схема управления по возмущению предусматривает наличие обратной связи по параметру теплоносителя в тепловом пункте. В связи с этим система управления оказывается частично замкнутой (по регулирующему параметру) и в ее контур включается источник теплоты, тепловые сети, а при установке датчика температуры на обратном трубопроводе – и система отопления. Таким

образом, создастся принципиальная возможность исключить влияние случайных отклонений режима работы тепловой сети на тепловой режим здания.

Рассматриваемая схема реализует следующий закон управления:

$$\Pi = F(B),$$

где Π — параметр обратной связи;

B – внешние возмущения, заложенные в закон управления.

Местное автоматическое регулирование расхода теплоты

В этом случае требуется количественная оценка несоответствия между значениями параметров теплоносителя в тепловой сети и теми параметрами, которые требуется поддерживать в абонентских вводах. Помимо общего размера нарушений подачи теплоты, при оценке температурного режима помещений должны быть приняты во внимание длительность нарушения режима и динамические характеристики (теплоустойчивость) отапливаемых помещений. Кроме того, необходимо учитывать, что отклонения параметров теплоносителя в существующих системах отопления, за исключением бифилярных систем, вызывают непропорциональное изменение теплоотдачи нагревательных приборов, расположенных в различных этажах.

В качестве показателя, дающего представление о непропорциональности в изменении расходов теплоты, может быть принят коэффициент

$$\rho = (1 - y_{\min}) / (1 - y),$$

где y_{\min} – коэффициент расхода теплоты в приборах отстающего этажа.

Во избежание разрегулировки системы отопления и сохранения пропорционального распределения теплоты между нагревательными приборами при местном автоматическом регулировании последнее должно производиться по качественно-количественному графику.

Как показали исследования В.К. Дюскина и Е.А. Белинкого, указанная зависимость имеет вид:

$$x_{\text{опт}} = \varphi^m,$$

где $x_{\text{опт}}$ – коэффициент расхода воды в системе по оптимальному графику качественно-количественного регулирования;

φ – коэффициент отпуска теплоты, равный отношению расхода теплоты, требуемого в данный момент времени, к расчетному расходу;

m – показатель степени; $m = 1 / (1 - n)$ (для вертикальных однотрубных систем отопления $m = 0,75$).

Из рисунка 1.15.1 видно, что с увеличением расхода воды из тепловой сети x коэффициент смешения и должен уменьшаться, а расход воды в системе отопления $x_{\text{сист}}$ увеличиваться.

На характер зависимостей $u = f(x)$ и $x_{\text{сист}} = F(x)$ коэффициент отпуска теплоты φ практически не влияет.

Таким образом, регулирование отопительной нагрузки при зависимом присоединении местных систем следует производить путем одновременного изменения расхода воды из тепловой сети и коэффициента смешения.

Приведенные данные показывают, что коэффициенты смешения в ряде случаев необходимо изменять в зависимости от тепловой нагрузки – коэффициента отпуска теплоты (в частности, когда расчетные температуры воздуха в здании отличаются от температур, заложенных в основу графика центрального регулирования).

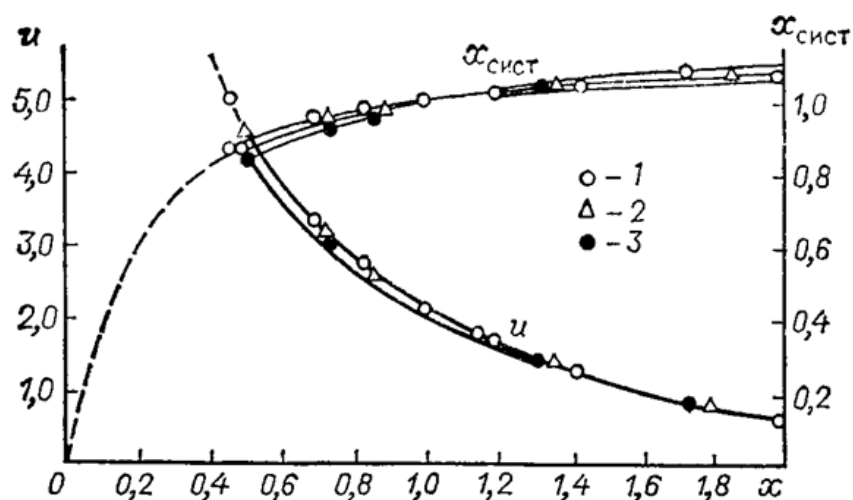


Рисунок 1.16.1 – Зависимости $u = f(x)$ и $x_{\text{сист}} = F(x)$, при которых обеспечивается пропорциональное распределение теплоты между нагревательными приборами
 $1 - \varphi = 0,2$; $2 - \varphi = 0,6$; $3 - \varphi = 1,0$

Коэффициенты смешения должны также меняться в динамике во время переходного процесса (например, для зданий, где толщина стены или соотношение быстрых и медленных теплопотерь отличаются от значений, на которые ориентируется режим работы тепловой сети).

На рисунке 1.16.2 показаны различные технологические схемы автоматического регулирования в абонентских вводах.

Схема с непосредственным присоединением (рисунок 1.16.2, а) может быть применена в тех случаях, когда расчетные температуры теплоносителя в тепловой сети в системе отопления совпадают. Для предотвращения тепловой разрегулировки (особенно в многоэтажных зданиях) система отопления должна быть бифилярной.

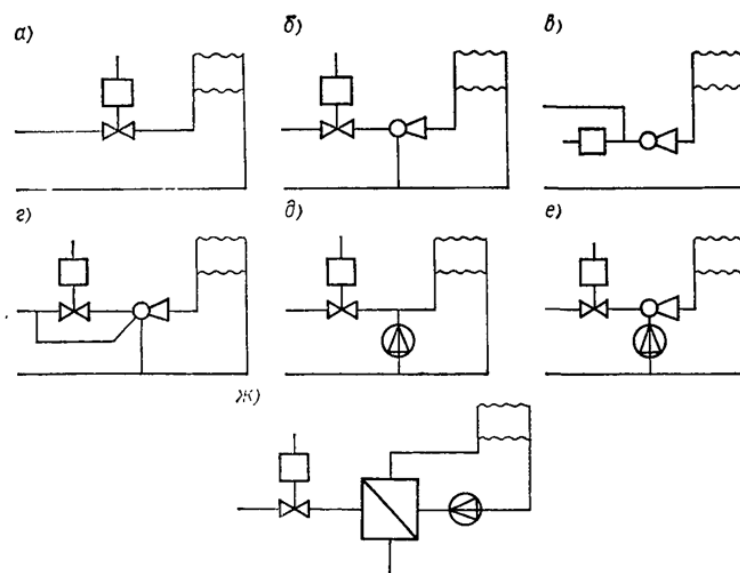


Рисунок 1.16.2 – Технологические схемы автоматического регулирования в абонентских вводах: *а* – при непосредственном присоединении систем отопления; *б* – при обычном элеваторном присоединении систем отопления; *в* – при применении регулируемых элеваторов с дроссельной иглой; *г* – при применении двухсопловых элеваторов; *д* – при насосном присоединении; *е* – при последовательной установке элеватора и насоса; *ж* – при независимом присоединении систем отопления.

Особенности центрального регулирования в автоматизированных системах теплоснабжения

В автоматизированных системах теплоснабжения с местным «активным» регулированием отопительной нагрузки у потребителей функции центрального регулирования существенно отличаются от тех функций, которые оно выполняет в неавтоматизированных системах.

Наличие местных систем автоматического регулирования, обеспечивающих подачу теплоты абонентским установкам в соответствии с их потребностями, в сочетании с использованием управляющих вычислительных комплексов, открывает широкие возможности для совершенствования центрального регулирования, для оптимизации тепловых и гидравлических режимов тепловых сетей.

Основное назначение центрального регулирования в этих условиях заключается в обеспечении высокого качества и надежности теплоснабжения с минимальными затратами на производство и транспорт тепловой энергии.

Для достижения высокого качества теплоснабжения в автоматизированных СЦТ параметры теплоносителя на выходе из теплового источника должны поддерживаться в процессе оперативного управления на таком уровне, при котором местные регуляторы у потребителей в состоянии устойчиво функционировать в диапазонах настройки, обеспечивающих требуемые значения регулируемых параметров

(комфортные температуры воздуха в отапливаемых помещениях, температуры воды в системах горячего водоснабжения в соответствии с санитарными нормами и т.д.).

Для достижения высокой надежности теплоснабжения значения параметров теплоносителя, устанавливаемые при центральном регулировании, а также темпы их изменения должны быть такими, чтобы опасность отказов при эксплуатации системы была сведена к минимуму (из-за возможного опорожнения или раздавливания систем отопления, температурных механических перенапряжений трубопроводов тепловой сети, нестационарных тепловых режимов, которые могут привести к поломкам теплового оборудования и др.).

Минимизация затрат на производство и транспорт тепловой энергии в системе централизованного теплоснабжения, с учетом ее взаимосвязей с электроэнергетической системой, является главной целью (критерием) оптимизации тепловых и гидравлических режимов при центральном автоматизированном регулировании отпуска теплоты.

Условия достижения высокого качества и надежности теплоснабжения при построении математической модели оптимизации центрального регулирования могут рассматриваться как технологические ограничения.

При разработке режимов центрального регулирования в автоматизированных системах теплоснабжения надо учитывать, что благодаря работе местных автоматических регуляторов каждый потребитель отбирает из тепловой сети такое количество теплоты, которое требуется для его нормального функционирования. При этом (из условия теплового баланса) размер отпуска теплоты от теплового источника за определенный период времени будет отличаться от общего теплопотребления присоединенных зданий на величину потерь в тепловых сетях, а также на количество теплоты, аккумулированной за этот период в зданиях и в тепловой сети.

Разумное использование теплоаккумулирующей способности зданий и тепловой сети позволяет отказаться от строгой синхронизации тепловых режимов, устанавливаемых различными ступенями управления, и устранить противоречия, возникающие из-за существенно отличных требований, предъявляемых к режиму теплоисточника и к местному автоматическому регулированию расхода теплоты.

В связи с тем, что количество отпускаемой тепловой энергии определяется как температурой теплоносителя, так и перепадом давлений (расходом воды) в тепловой сети, автоматизированная система управления отпуском теплоты должна состоять из двух взаимосвязанных подсистем: управления температурным режимом и управления гидравлическим режимом тепловой сети.

Практическая безынерционность системы по гидравлическому тракту и практическая несжимаемость воды обуславливают синхронное слежение на тепловом источнике за гидравлическим режимом абонентских установок: в каждый момент времени расход воды на выходе ТЭЦ (котельной) равен суммарному расходу воды (за

вычетом утечек из сети), потребляемому абонентами. В условиях местного количественного регулирования в абонентских вводах это предопределяет необходимость центрального качественно-количественного регулирования расхода теплоты.

Значительные же временные запаздывания по тракту передачи температуры вызывают необходимость вести управление температурными режимами с упреждением.

Как уже отмечалось, одной из основных задач центрального регулирования в автоматизированных системах теплоснабжения является минимизация себестоимости производства и транспорта теплоты. Это достигается, с одной стороны, путем оптимизации отпуска тепловой энергии (в течении года, отопительного сезона, недели, суток), а с другой стороны – путем оптимизации сочетаний температур и расходов сетевой воды для каждой величины отпуска теплоты.

При отыскании оптимальных сочетаний температур и расходов сетевой воды (другими словами, при построении оптимального графика центрального регулирования от ТЭЦ значение температур сетевой воды взаимосвязаны с размером выработки электроэнергии по теплофикационному циклу: с понижением указанных значений выработка электроэнергии на базе теплофикационных оборотов турбины увеличивается. В автоматизированных системах теплоснабжения от котельных этот фактор, естественно, не имеет места и на первый план выдвигается задача минимизации затрат электрической и тепловой энергии на транспорт теплоносителя по тепловым сетям.

При выборе режимов центрального регулирования необходимо также иметь в виду, что интенсивность наружной коррозии трубопроводов тепловых сетей, а, следовательно, и их срок службы, существенно зависит от температурного режима. При повышении температур воды в тепловой сети до 100° С и более интенсивность наружной коррозии резко уменьшается благодаря испарению влаги из слоя теплоизоляции, примыкающего к стенке трубы.

Из изложенного следует, что отыскание оптимального режима центрального управления в автоматизированных системах теплоснабжения представляет собой сложную задачу, решение которой не может быть однозначным для разных систем теплоснабжения.

1.17 Автоматизация теплоподготовительных установок ТЭЦ и котельных

Системами автоматизации предусматриваются:

1. Управление подпиточными насосами и регулирование давления воды в обратном трубопроводе станции или на перемычке;
2. Регулирование давления и уровня воды в теплофикационных деаэраторах;
3. Регулирование теплопроизводительности сетевых подогревателей и их автоматическая защита;
4. Автоматическое включение резервных сетевых насосов и защита от повышения давления сетевой воды.

Автоматизация подпиточных устройств. Подпиточные устройства поддерживают постоянное (или изменяющееся по определенному закону) давление воды во всасывающем коллекторе сетевых насосов. Для закрытых тепловых сетей с небольшими потерями давления воды в магистральных и благоприятном рельефе местности давление в точке подпитки при всех режимах (в том числе при остановленных сетевых насосах) поддерживается постоянным. Это достигается изменением подачи подпиточной воды (стока) из тепловой сети. Утечки воды в закрытой тепловой сети изменяются во времени и носят случайный характер. При аварийных ситуациях утечка воды значительно возрастает; в этом случае применяются резервные подпиточные насосы, которые включаются автоматически.

В открытых тепловых сетях расход подпиточной воды определяется переменным водоразбором на горячее водоснабжение [5].

Схема автоматизации подпиточных устройств при закрытой системе теплоснабжения приведена на рисунке 1.17.1. Предусматривает поддержание постоянного давления в обратном коллекторе тепловой сети на станции перед сетевыми насосами регулятором подпитки (типа «после себя»). Обычно используют П- или ПИ-регуляторы. Если статическое давление воды при остановленных сетевых насосах превышает давление в обратном коллекторе при работе насосов, то перестройка осуществляется вручную или автоматически путем применения специальных схем перестройки подпиточные насосы снабжены автоматикой включения резерва (АВР).

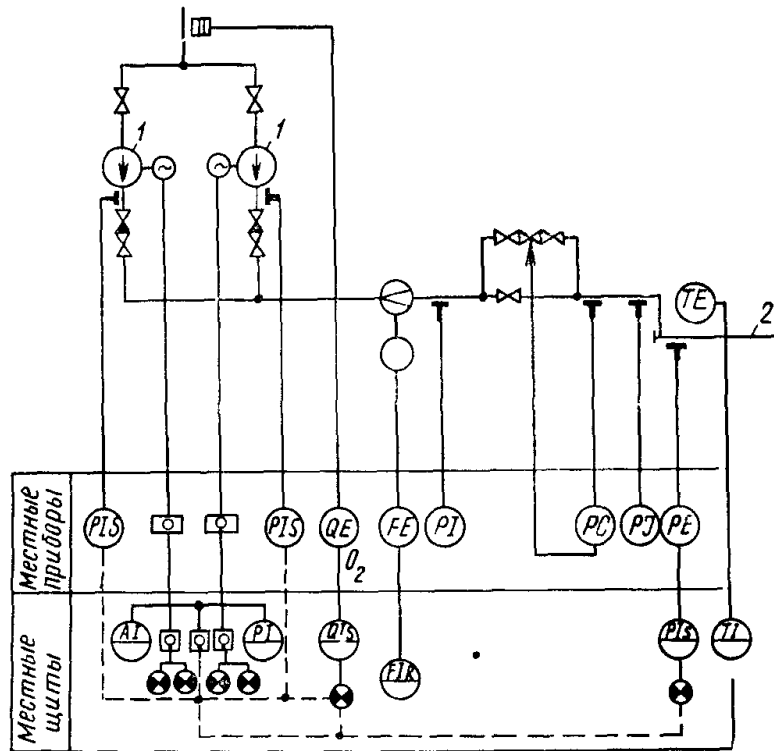


Рисунок 1.17.1 – Схема автоматизации подпитки при закрытой схеме теплоснабжения: 1 – подпиточные насосы; 2 – обратный трубопровод

Автоматизация теплофикационных деаэраторов. При установке на станции на линии подпиточной воды вакуумного деаэратора осуществляется автоматическое регулирование уровня воды в деаэраторном баке (рисунок 1.17.2) [5].

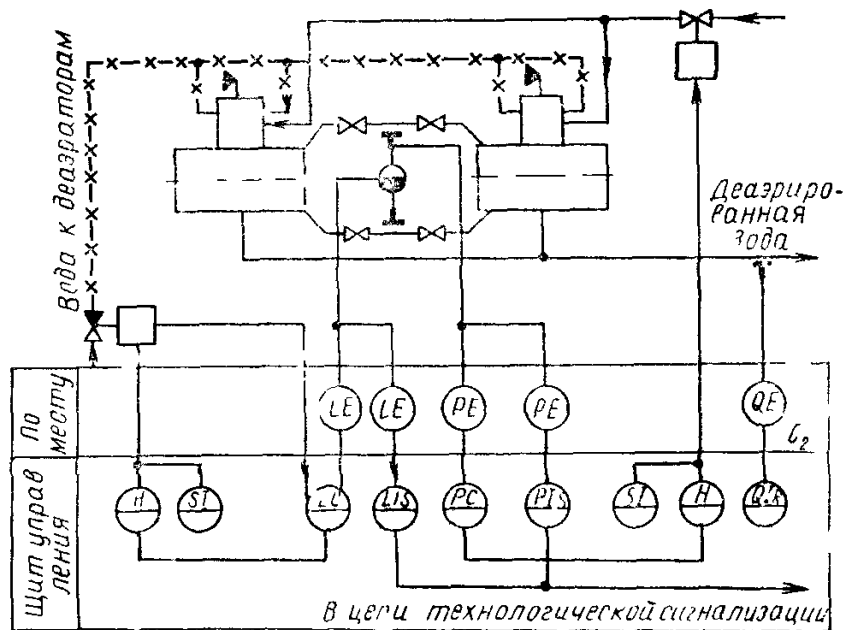


Рисунок 1.17.2 – Схема автоматизации установки с двумя деаэраторами

В установившемся режиме среднее значение уровня должно быть постоянным, а в переходных допускается колебание ± 200 мм. По динамическим свойствам деаэрационный бак является интегрирующим звеном, для которого можно записать

$$T \cdot \frac{d\varphi}{dt} = k \cdot \lambda,$$

где $T = F \cdot H_0 \rho / G$ – время разгона, с, F – площадь бака, м^2 ;

H_0 – номинальный уровень воды в баке, м; H – текущее значение уровня, м;

$\varphi = H - H_0 / H$ – относительное отклонение регулируемого уровня;

$\lambda = G_{\text{пр}} - G_{\text{ст}} / G$ – относительное возмущение или регулирующее воздействие;

$G_{\text{пр}}, G_{\text{ст}}$ – приток и сток воды, кг/с;

G – максимальный расход воды, кг/с;

ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

k – передаточный коэффициент.

Решая уравнение, получим

$$\varphi = \frac{k\lambda t}{T}.$$

В атмосферном деаэраторе дополнительно предусматривается регулирование давления в колонке, что достигается изменением подачи пара в колонку деаэратора.

Относительное давление в колонке деаэратора можно рассматривать как апериодическое звено

$$T \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k \cdot \lambda,$$

где φ – относительное отклонение давления,

λ – относительное воздействие подачи пара;

T – постоянная времени, с; $T \approx 180\text{--}360^\circ\text{C}$.

Для регулирования уровня и давления применяются ПИ-регуляторы.

Автоматизация сетевых подогревателей. При автоматизации сетевых подогревателей одной из основных задач является регулирование температуры сетевой воды на выходе из подогревателей. Наиболее часто применяется центральное регулирование по отопительному графику с температурой воды в падающем трубопроводе $60\text{--}150^\circ\text{C}$. Минимальная температура 60°C обусловливается соблюдением гигиенических требований, предъявляемых к системам горячего водоснабжения.

При двухступенчатой последовательной схеме присоединения абонентских вводов возможно регулирование температуры сетевой воды по повышенному температурному графику (суммарной нагрузке). По метеорологическим данным требуемая температура сетевой воды устанавливается вручную задатчиком регулятора и поддерживается с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$.

Регулирование температуры сетевой воды за подогревателями осуществляется путем дросселирования греющего пара или перепуском части сетевой воды в обход подогревателей (рисунок 1.17.3)

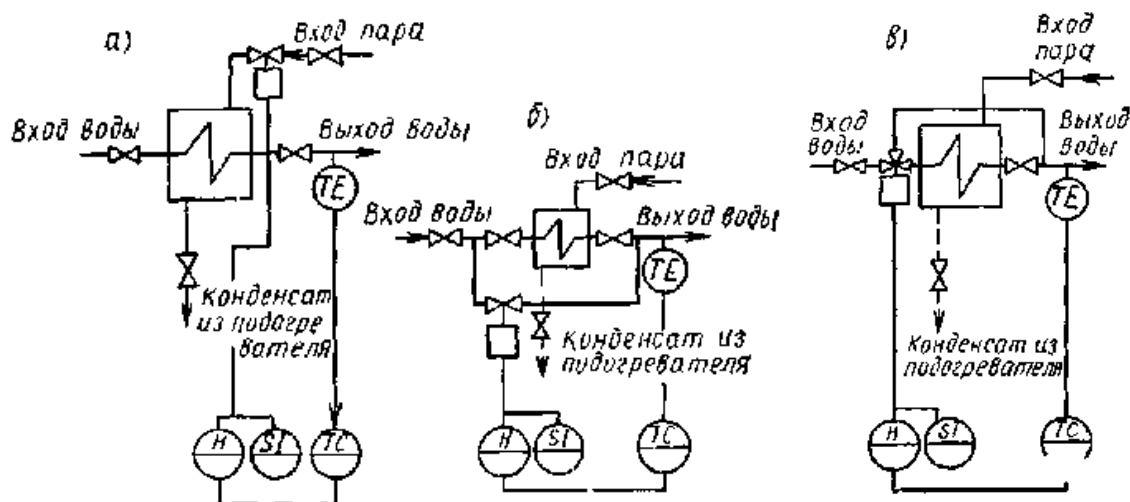


Рисунок 1.17.3 – Схемы регулирования температуры воды за подогревателями
а – дросселированием греющего пара; *б* – перепуском части воды в обход подогревателя с помощью регулирующего клапана на обводной линии; *в* – с помощью трехходового регулирующего клапана

Первый метод применяется при регулировании температуры сетевой воды за пиковыми подогревателями, второй метод – за основными подогревателями, когда выключены пиковые. При этом обеспечивается меньшее колебание давления греющего пара и уменьшается инерционность регулируемого объекта. В обоих случаях применяются ПИ-регуляторы.

Пароводяные подогреватели в первом приближении можно рассматривать как инерционные объекты с запаздыванием. Для подогревателя типа СП (с максимальным расходом пара 28 кг/с) постоянная времени $T \sim 50$ с и время запаздывания $\tau \sim 18$ с.

В основных и пиковых сетевых пароводяных подогревателях требуется поддерживать уровень конденсата в допустимых пределах исходя из условий оптимального теплообмена в подогревателе и исключения возможности заброса воды в трубопровод греющего пара. Допускаемое отклонение уровня конденсата ± 200 мм. Участок регулирования подогревателя по уровню конденсата является интегрирующим звеном. Схема автоматического регулирования уровня конденсата и защиты подогревателей от переполнения представлена на рисунке 1.17.4. Для регулирования уровня применяются ПИ-регуляторы.

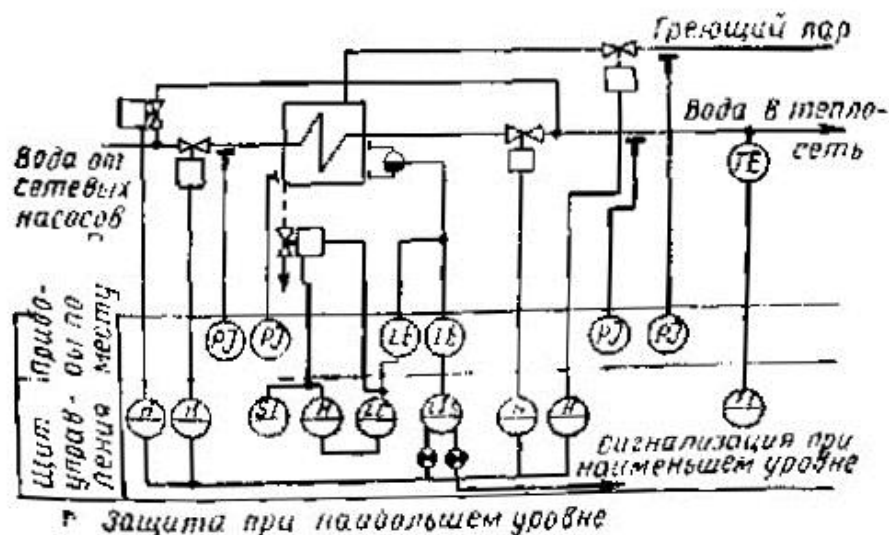


Рисунок 1.17.4 – Схема регулирования уровня конденсата и защиты подогревателей от переполнения конденсатом

Защита от переполнения конденсатом осуществляется путем автоматического закрытия задвижек на трубопроводах сетевой воды и пара и открытия задвижки на обводной линии. Одновременно с этим подаются световой и звуковой сигналы

Автоматизация включения резервных сетевых насосов и защита от повышения давления сетевой воды. В процессе эксплуатации тепловых сетей не исключена возможность остановки части сетевых насосов, в результате чего может повыситься давление в обратном трубопроводе до недопустимых пределов и возникнут повреждения отопительных систем при непосредственном их присоединении к тепловой сети. Поэтому предусматривается автоматическое включение резервных насосов при остановке рабочих [5].

Обычная схема автоматического включения резервного насоса предусматривает пуск его при закрытой задвижке на напорном трубопроводе с последующим автоматическим открытием задвижки. Однако при этом значительно растягивается время восстановления первоначального режима, который имел место до момента остановки рабочего насоса, и такой режим АВР не устраняет временного повышения давления в обратном трубопроводе сверх допустимых пределов. Поэтому рекомендуется резервный насос включать на частично открытую задвижку.

Характер изменения давлений при автоматическом переключении насосов существенно зависит от продолжительности времени между остановкой и включением электродвигателей переключаемых насосов. При выключении насосов на 4 с давление в обратном коллекторе поднялось на $2,4 \text{ кгс/см}^2$ ($0,24 \text{ МПа}$), при увеличении времени выключения насосов до 9 с – $2,9 \text{ кгс/см}^2$ ($0,29 \text{ МПа}$).

Следовательно, чем короче перерыв в работе насосов, тем меньше повышение давления в обратной линии теплосети и меньше вероятность гидравлического удара при аварийных остановках сетевых насосов.

1.18 Автоматизация насосных подстанций

Основное назначение насосных подстанций – изменение давления в подающем или обратном трубопроводе за подстанцией, а также увеличение пропускной способности тепловой сети [5].

Автоматизацией насосной подстанции на подающей магистрали (рисунок 1.18.1) предусматриваются:

- 1) блокировка насосных агрегатов (АВР);
- 2) блокировка электродвигателей насоса и задвижки на напорном патрубке насоса;
- 3) автоматическое включение резервного насоса при падении давления в напорном патрубке работающего;
- 4) автоматическое переключение на резервный источник электропитания;
- 5) сигнализация о неисправностях работы насосной подстанции (например, превышение допустимой температуры в подшипниках насосов, автоматическое включение резервного насоса, понижение давления воды за насосами и т. д.).

При автоматизации насосной подстанции на обратной магистрали (рисунок 1.18.2) дополнительно предусматривается поддержание постоянного давления во всасывающем коллекторе насосной подстанции, так как постоянство давления во всасывающем коллекторе влияет на надежность работы отопительных систем.

Автоматическая защита от понижения давления воды во всасывающем коллекторе перекачивающей подстанции действует при аварийных ситуациях. В указанных условиях автомат расщепки разделяет тепловую сеть на две гидравлически независимые зоны: верхнюю (с высокой отметкой пьезометра после срабатывания защиты) и нижнюю (с низкой отметкой пьезометра).

Основной причиной резких и значительных по величине понижений давления воды во всасывающем коллекторе насосных подстанций на обратных трубопроводах является остановка насосов подстанции или сетевых насосов на станции, что может быть вызвано различными неисправностями, в том числе прекращением подачи электроэнергии.

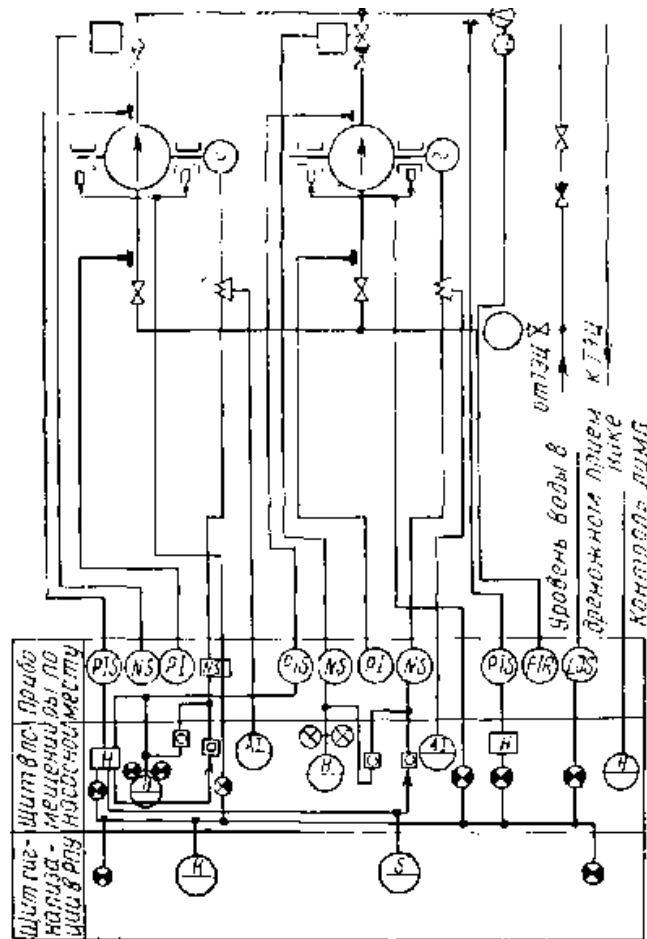


Рисунок 1.18.1 – Схема автоматизации насосной подстанции на подающей магистрали

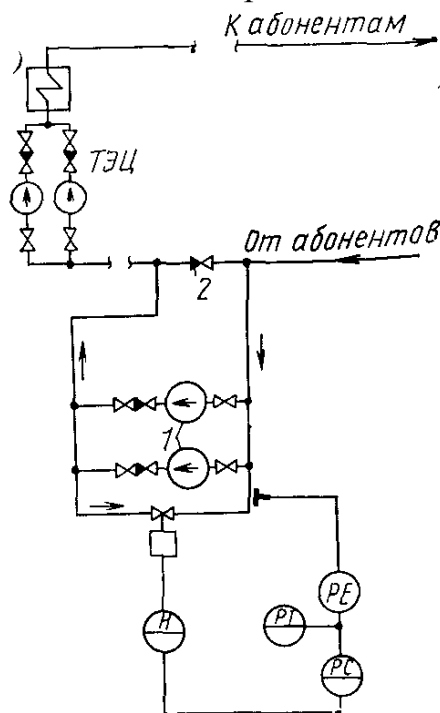


Рисунок 1.18.2 – Схема регулирования давления воды во всасывающем коллекторе насосной подстанции на обратном магистрале: 1 – насосы подстанции; 2 – обратный клапан

В связи с этим в схеме защиты используются не электрические, а гидравлические регуляторы давления, например, РД-ЗЛ с регулирующим клапаном РК. Измерительно-управляющие приборы РД-ЗА автомата расщетки и регулятора давления получают импульс от давления на всасывающем коллекторе насосной подстанции. Регулирующие клапаны РК с мембранным приводом устанавливаются на подающей магистрали подстанции.

Полное разделение тепловой сети на две гидравлические независимые зоны не требуется в том случае, когда давление в обратной магистрали во время остановки насосной подстанции не превышает допустимого предела при некотором сокращенном расходе воды, который можно обеспечить частичным прикрытием регулирующего клапана. В таких случаях целесообразно применять двухседельные регулирующие клапаны.

При частичном закрытии регулирующего клапана снижается вероятность возникновения гидравлического удара в подающем трубопроводе.

1.19 Автоматизация узлов горячего водоснабжения

Основная задача автоматического регулирования систем горячего водоснабжения – поддержание постоянной заданной температуры воды в местах ее разбора. В идеальном случае это можно осуществить с помощью индивидуальных регуляторов температуры в каждом месте разбора горячей воды. Однако такое решение существенно усложнит эксплуатацию систем горячего водоснабжения и будет малоэффективным. В связи с этим индивидуальные регуляторы в местах разбора горячей воды устанавливаются лишь в особых случаях.

Как правило, автоматически поддерживают постоянную температуру воды (60°C) на узлах горячего водоснабжения ЦТП. Постоянство температуры воды в местах разбора не гарантируется из-за остывания воды в разводящих трубопроводах. Указанный недостаток в значительной мере устраняется применением циркуляционных линий с насосами [5].

Для обеспечения качественного снабжения потребителей горячей водой необходима непрерывная работа циркуляционного насоса. Если работа насосов в ночное время не предполагается, то предусматривается их автоматическое выключение. При установке аккумуляторов для выравнивания графика отпуска теплоты на горячее водоснабжение предусматривается автоматическое управление зарядкой и разрядкой этих аккумуляторов. Выбор схемы автоматического регулирования температуры воды на горячее водоснабжение определяется принятой системой теплоснабжения (закрытая или открытая).

При закрытой системе теплоснабжения, когда на вводах горячего водоснабжения устанавливаются водоводяные подогреватели, широко применяется схема регулирования температуры нагреваемой воды путем изменения количества сетевой

воды (рисунок 1.19.1, *а*, *б*, *в*) или путем разделения потока сетевой воды трехходовым регулирующим клапаном на два: поступающий поток направляется в подогреватель, а перепускаемый – по обводной линии (рисунок 1.19.1, *г*).

При таком способе регулирования обеспечивается примерно постоянный расход сетевой воды, что исключает полностью или частично гидравлическую разрегулировку тепловой сети. Однако постоянство расхода сетевой воды приводит к завышению температуры воды в обратном трубопроводе тепловой сети в период малых нагрузок горячего водоснабжения. При теплоснабжении от ТЭЦ это нежелательно, так как на ТЭЦ снижается выработка электроэнергии на тепловом потреблении

При открытой системе теплоснабжения на узлах горячего водоснабжения отсутствуют водоводяные подогреватели; горячая вода к потребителю поступает непосредственно из тепловой сети. Температура воды, поступающей в систему горячего водоснабжения, регулируется смешением потоков воды из подающего и обратного трубопроводов тепловой сети.

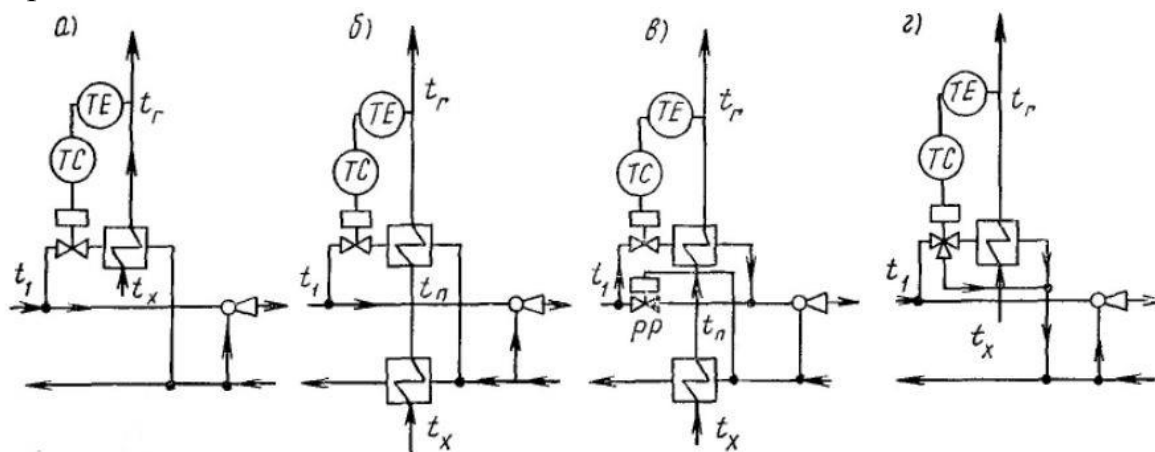


Рисунок 1.19.1 – Схемы автоматического регулирования температуры воды горячего водоснабжения при закрытой системе теплоснабжения

а – параллельная, *б* – смешанная двухступенчатая, *в* – двухступенчатая последовательная, *г* – схема с трехходовым регулирующим клапаном, ТС – регулятор температуры, РР – регулятор расхода

Широкое распространение получили схемы с установкой регулирующего клапана на подающем трубопроводе и обратного клапана на обратном трубопроводе (рисунок 1.19.2, *а*) и с применением трехходового клапана смешения (рисунок 1.19.2, *б*).

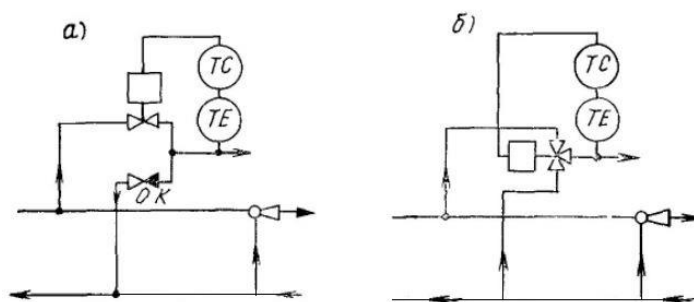


Рисунок 1.19.2 – Схемы автоматического регулирования температуры воды горячего водоснабжения при открытой системе теплоснабжения с двухходовым (а) и с трехходовым регулирующим клапаном (б)

Режим работы систем горячего водоснабжения отличается значительной неравномерностью расхода воды в течение суток, причем расход сетевой воды изменяется не только в течение суток, но и в течение года. Например, в системе горячего водоснабжения с параллельной схемой включения подогревателей при увеличении температуры воды в подающем трубопроводе тепловой сети с 70 до 150°С расход сетевой воды на горячее водоснабжение уменьшается примерно в 3,5 раза. При непосредственном водоразборе в открытых системах теплоснабжения увеличение температуры воды в подающем трубопроводе приводит к некоторому снижению ее расхода.

Водоводяные подогреватели горячего водоснабжения могут быть представлены аperiodическими звеньями с запаздыванием. При двухступенчатой (последовательной или смешанной) схеме включения подогревателей горячего водоснабжения регулирующей ступенью является вторая по ходу движения нагреваемой воды. Так как число секций этой ступени обычно меньше, а температура на входе нагреваемой воды во вторую ступень больше, чем при одноступенчатой (параллельной) схеме включения подогревателя, то динамическая характеристика двухступенчатого подогревателя отличается от одноступенчатого. Исследованиями установлено, что при переводе подогревателей горячего водоснабжения с одноступенчатой на двухступенчатую схему T и τ снижаются в 1,6-1,7 раза.

1.20 Автоматизация водяных систем отопления

Основная задача автоматизации водяных систем отопления – стабилизация температуры воздуха отапливаемых помещений. В последние годы все шире применяется программное регулирование отпуска теплоты на отопление, которое обеспечивает снижение температуры воздуха отапливаемых помещений административных и производственных зданий в ночное время суток и в выходные дни. Рассматривается вопрос о целесообразности программного регулирования температуры воздуха в жилых зданиях [5].

В закрытых тепловых сетях с параллельной и двухступенчатой смешанной схемами присоединения абонентов регулирование отпуска теплоты на отопление осуществляют по отопительному графику путем стабилизации перепада давления на отопительных вводах. (При неизменном гидравлическом сопротивлении системы отопления абонента постоянному перепаду давления соответствует постоянный расход сетевой воды.)

При такой автоматизации решается только одна частная задача регулирования отпуска теплоты на отопление, не допуская случаев гидравлической разрегулировки тепловой сети. Сущность гидравлической разрегулировки состоит в том, что колебания расхода сетевой воды на горячее водоснабжение (или вентиляцию) вызывают изменение разности давлений подающей и обратной линии тепловой сети, а, следовательно, изменение расхода воды на неавтоматизированных отопительных узлах. Кроме того, при уменьшении расхода сетевой воды у части абонентов происходит гидравлическая разрегулировка в тепловой сети и увеличивается расход сетевой воды на отопление у другой части абонентов, и наоборот.

Более сложным является регулирование расхода сетевой воды на ЦТП с двухступенчатой последовательной схемой присоединения абонентов, так как в этом случае расход воды на отопление должен изменяться по определенному закону в зависимости от температуры воды в подающем трубопроводе.

При неблагоприятном рельефе местности и больших потерях напора в тепловой сети автоматизацией отопительных вводов или ЦТП предусматривается поддержание постоянного давления в обратном трубопроводе систем отопления высоких или высоко расположенных зданий. (Широко применяются регуляторы давления «до себя» прямого действия.) Благодаря автоматизации исключается возможность утечки воды из систем отопления указанных зданий при колебаниях гидравлического режима тепловой сети.

При остановке насосов на обратном трубопроводе подстанции и значительном возрастании давления в обратном трубопроводе автоматика защищает отопительную систему от повышенного давления.

Как уже отмечалось, качественный отпуск теплоты отопительным абонентам в системах централизованного теплоснабжения возможен лишь при применении нескольких ступеней регулирования: центральной, групповой, местной, пофасадной и индивидуальной. Указанные ступени не противопоставляются, а дополняют одна другую. На каждой предыдущей ступени снимается часть возмущающих воздействий и тем самым облегчается работа последующих ступеней. В конкретных системах теплоснабжения та или иная ступень регулирования может отсутствовать (например, ступень индивидуального автоматического регулирования в каждом отапливаемом помещении).

Применяются три способа автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление:

- по отклонению температуры воздуха помещений;
- по возмущению – изменению температуры наружного воздуха, скорости ветра, солнечной радиации;
- комбинированный (по отклонению и возмущению).

Первый способ применяется при индивидуальном, а также местном (пофасадном) регулировании; второй – основной способ – при регулировании на ТЭЦ и в котельной, который может быть использован также при групповом регулировании на ЦТП; третий способ регулирования может применяться в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП).

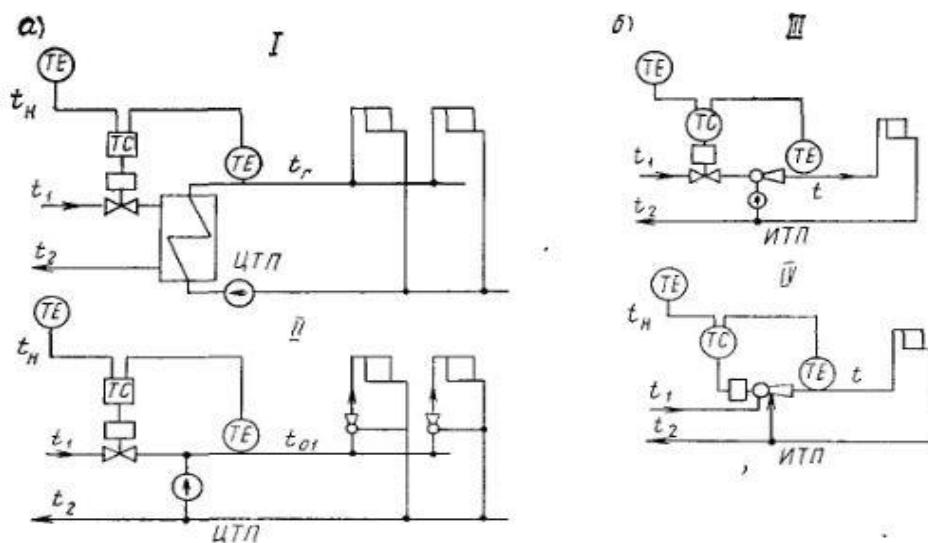


Рисунок 1.20.1 – Схемы группового (а) и местного (б) автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление по возмущению: / – независимое присоединение; // – с подмешивающими насосами на ЦТП; /// – совместная работа элеватора и насоса, /V – элеватор с регулирующим соплом

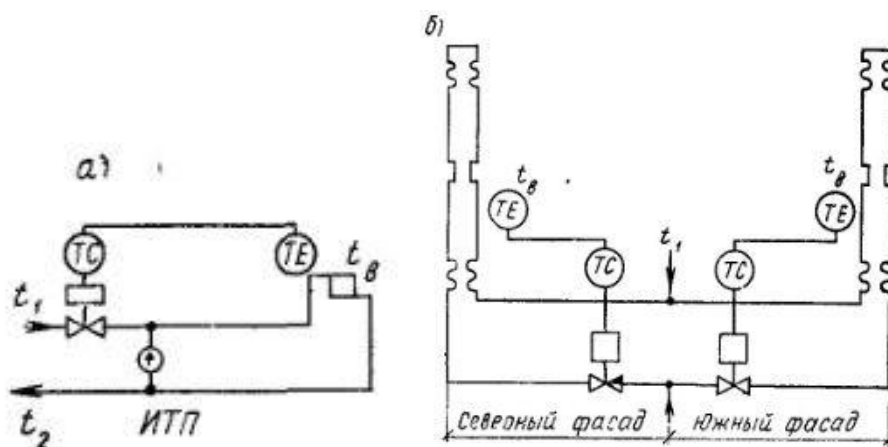


Рисунок 1.20.2 – Схемы местного (а) и пофасадного (б) автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление по отклонению температуры воздуха помещений

1.21 Схемы автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление

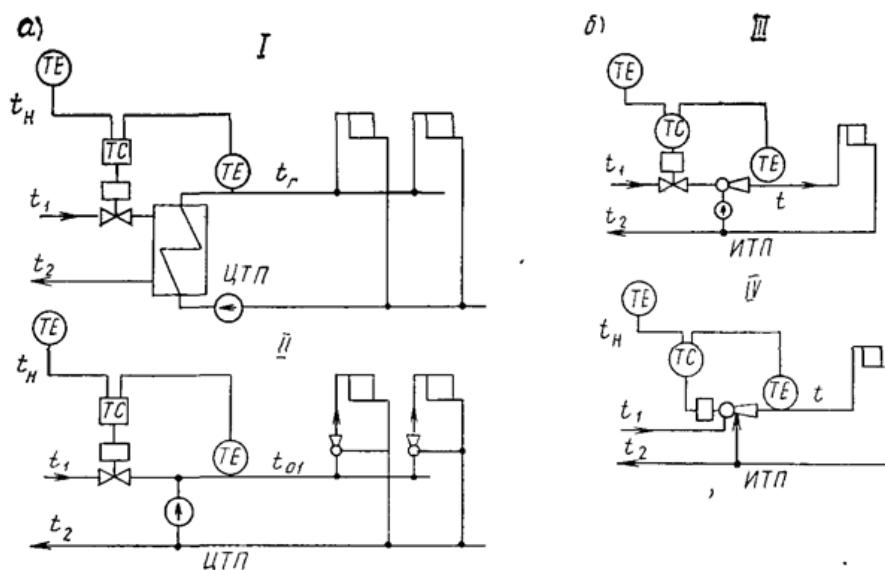


Рисунок 1.21.1 – Схемы группового (а) и местного (б) автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление по возмущению / – независимое присоединение; // – с подмешивающими насосами на ДТП; /// – совместная работа элеватора и насоса, /V – элеватор с регулирующим соплом

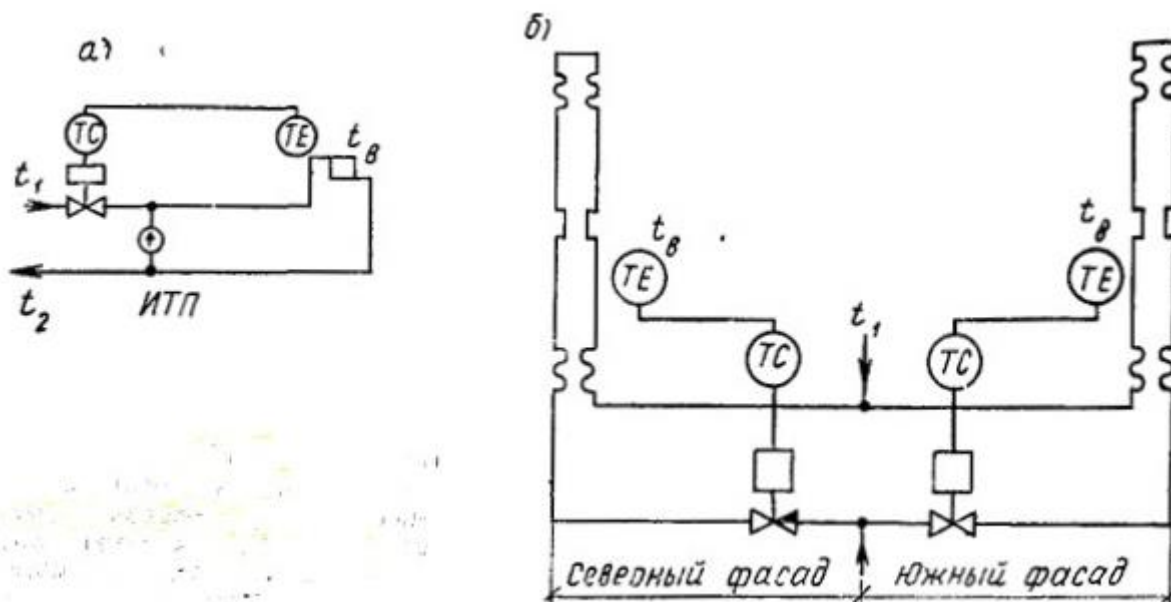


Рисунок 1.21.2 – Схемы местного (а) и пофасадного (б) автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление по отклонению температуры воздуха помещений

Основной при регулировании на ТЭЦ и в котельной, который может быть использован также при групповом регулировании на ЦТН; третий способ регулирования может применяться в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) [5].

Групповое регулирование (на ЦТП). Принципиальные схемы группового автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление приведены на рисунке 1.21.1, *а*. Применение этих схем практически исключает возможность вертикальной разрегулировки отопительных систем при значительных сокращениях расхода сетевой воды. Регулирование осуществляется ПИ-регулятором соотношения температур, который изменяет температуру воды в подающем трубопроводе за ЦТП в зависимости от температуры наружного воздуха в соответствии с отопительным температурным графиком.

Вместо датчика температуры наружного воздуха может применяться так называемый датчик метеоусловий, который представляет собой термометр сопротивления, помещенный в камеру в наружной стене одного из зданий. Снаружи камера закрыта прозрачной крышкой с отверстиями для пропуска солнечной радиации и обдува термометра сопротивления. Такой датчик учитывает не только изменение температуры наружного воздуха, но и скорость ветра, и величину солнечной радиации.

Для исключения влияния гидравлической разрегулировки тепловой сети на режим отпуска теплоты на отопление дополнительно устанавливают регуляторы перепада давления между падающей и обратной линией.

Местное регулирование. В схемах местного автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление (в ИТП) также можно использовать способ регулирования по возмущению. Можно применять также схемы с совместной работой элеватора и насоса и с регулируемым элеватором (рисунок 1.21.1, *б*). Эти схемы позволяют увеличивать коэффициент смещения элеватора по мере снижения расхода сетевой воды.

В ИТП можно применить и способ регулирования по отклонению температуры воздуха в контрольных (представительных) помещениях здания. Наиболее эффективным является местное регулирование (рисунок 1.21.2), которое может обеспечить значительную экономию теплоты.

Представляет интерес опыт Челябинска по разработке и внедрению схем автоматического регулирования пофасадных (позонных) панельных бифилярных систем отопления (рисунок 1.21.2, *б*). Схемой обеспечивается глубокое количественное регулирование систем панельного отопления без смещения. Применяются электронные П-регуляторы с электрическими исполнительными механизмами для перемещения регулирующего органа конструкции В.Т. Благих.

Регулирование отпуска теплоты на отопление в ИТП можно осуществлять двухпозиционным регулятором местных пропусков, который отключает систему

отопления от тепловой сети при превышении заданной температуры воздуха в контрольных помещениях здания (опыт теплосети Мосэнерго). Как показали исследования режима работы отопительных систем при двухступенчатой последовательной схеме присоединения и нормальном отопительном температурном графике, расчетный температурный режим в отапливаемых помещениях будет соблюдаться только при температуре наружного воздуха t_n , соответствующей точке излома температурного графика. При отклонении t_n в ту или иную сторону и постоянном расходе сетевой воды будет перегрев помещений. Во избежание этого необходимо по мере понижения t_n уменьшать расход сетевой воды G_c на тепловом пункте.

Теоретическая зависимость $G_c = f_1(t_n)$, а также зависимость изменения температуры воды в подающем трубопроводе t_1 от t_n , т.е. $t_1 = f_2(t_n)$, для условий Москвы приведены на рис. 13.14, а. График построен при расчетной тепловой нагрузке отопительной системы $Q_0 = 1$ Гкал/ч и средней тепловой нагрузке системы горячего водоснабжения $Q_G^{CP} = 0,27$ Гкал, т. е. $\rho_c^{CP} = Q_G^{CP} / Q_0 = 0,27$. Как видно из графика, при расчетной $t_n = -26^\circ\text{C}$ общий расход сетевой воды должен снизиться практически до расхода воды на отопление.

При двухступенчатой последовательной схеме присоединения абонентов в случае повышенного температурного графика (графика с регулированием по суммарной нагрузке отопления и горячего водоснабжения) будет иная картина с расходом сетевой воды, так как график строится для определенного по тепловой сети отношения $\rho_c^{CP} = (Q_G^{CP} / Q_0)_{\text{сеть}}$.

Величина ρ^{CP} у отдельных абонентов может совпадать или не совпадать с величиной ρ_c^{CP} . Если $\rho_c^{CP} = \rho^{CP}$, то расход воды у такого абонента должен поддерживаться постоянным при любых t_n ниже точки излома графика. Если $\rho^{CP} > \rho_c^{CP}$, то с понижением t_n должен понижаться и расход сетевой воды у такого абонента.

При $\rho^{CP} < \rho_c^{CP}$ с понижением t_n расход сетевой воды у абонента должен повышаться (рисунок 1.21.1,6).

Таким образом, во избежание перегрева зданий при двухступенчатой последовательной схеме присоединения абонентов расход сетевой воды на вводах значительной части абонентов должен изменяться с изменением t_n (и соответственно t_1). Такое изменение расхода G может быть обеспечено только с помощью автоматических регуляторов, работающих по отклонению температуры воздуха

отапливаемых помещений или по изменению температуры воды t_1 в подающем трубопроводе сети (рисунок 1.21.2).

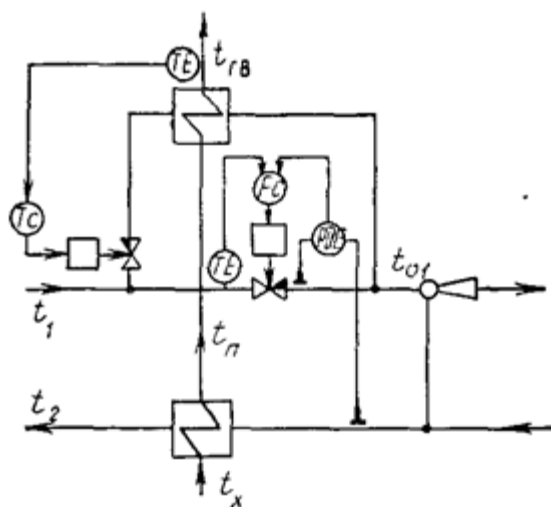


Рисунок 1.21.2 – Схема автоматического регулирования при двухступенчатом последовательном включении подогревателей горячего водоснабжения

Индивидуальное регулирование. Осуществляется в каждом отапливаемом помещении или на группу помещений с одинаковым температурным режимом. Как правило, применяют двухпозиционные или П-регуляторы прямого действия. Индивидуальное регулирование нейтрализует возмущающие воздействия, возникающие в отдельных помещениях вследствие внутренних тепловыделений, солнечной радиации и т.д.

1.22 Автоматизация приточных камер

В современных требованиях к автоматизированным системам вентиляции (СВ) и кондиционирования воздуха (СКВ) содержатся два противоречивых условия: первое – простота и надежность эксплуатации; второе – высокое качество функционирования, например, качество стабилизации температуры приточного воздуха, минимум расхода энергии и т. д. Стремление к выполнению этих условий связано с необходимостью отыскания компромиссного технического решения [5].

Состояние эксплуатации СВ и СКВ во многом зависит от уровня развития, структуры и качества технической реализации средств технологической обработки и перемещения воздуха, а также средств автоматического управления. Правильный выбор структуры системы кондиционирования воздуха и установочной мощности технологического оборудования – это лишь часть задачи разработки и проектирования.

Наиболее сложной составляющей процесса разработки является выбор режимов функционирования СКВ в годовом цикле работы. Известно, что годовое изменение параметров наружного воздуха предопределяет существенную нестационарность и нелинейность отдельных характеристик технологического оборудования. Это прежде

всего сказывается на так называемых регулировочных характеристиках оборудования, что значительно усложняет задачу выбора методов и средств автоматического управления режимами работы технологического оборудования систем.

Основным принципом в технической организации автоматического управления СВ и СКВ является функциональное выделение и соответствующее конструктивное оформление иерархической структуры подлежащих выполнению задач защиты, регулирования и управления.

Следует отметить, что перечисленные ранее функции автоматического управления, по крайней мере двух низших уровней, не являются новыми существенно новыми для управления промышленными СВ и СКВ являются их группировка и обособленное функционально независимое конструктивное оформление. Предлагаемая структура технической реализации управления позволяет решать ряд вопросов, связанных с повышением эксплуатационных и надежных характеристик автоматизированной системы, а также вопросов, связанных с последовательностью ввода в действие иерархической структуры и комплектацией ее средствами автоматического управления.

Всякая промышленная СКВ должна быть снабжена элементами и устройствами автоматического пуска и останова, а также устройствами защиты от аварийных ситуаций. Этот первый уровень автоматизации СКВ подлежит обязательному выполнению и не может быть заменен (это касается защиты) ручным управлением с помощью оператора. Защита оборудования от аварийных ситуаций должна решаться на наиболее надежных элементах автоматики.

Для непрерывного выполнения функций защиты следует использовать элементы, обладающие повышенной надежностью (свойствами минимальной интенсивности потока отказов). Поскольку при обеспечении защиты оборудования исключена возможность резервирования в форме ручного управления, допустимо применение поэлементного функционального резервирования средств автоматической защиты. При этом следует помнить, что работа автоматизированной СКВ без аварийных ситуаций будет только в том случае, когда оборудование и средства автоматической защиты обладают способностью выполнять заданные функции в течение требуемого интервала времени при определенном техническом обслуживании и условиях эксплуатации.

Техническая реализация функций второго уровня управления СКВ – уровня стабилизации режимов работы оборудования – может решаться по-другому, так как в этом случае возможна, а в большинстве случаев и действенна форма резервирования в виде предусмотренной схемы ручного управления. Действительно, если имеет место отказ в работе локального контура автоматической стабилизации температуры воздуха на выходе из воздухоподогревателя, то совершенно правомерно

использование органов ручного управления с автоматическими клапанами или ручных вентилей на трубопроводе теплоносителя.

Если оценивать надежность эксплуатации средств автоматического управления второго уровня, то следует иметь в виду, что в этом случае в отличие от первого уровня ущерб, возникающий вследствие отказа функции, зависит главным образом не от числа отказов (которые в первом уровне носят достаточно опасный характер), а от интервалов времени, в течение которых прекращается выполнение функций стабилизации. Поэтому для выполнения функций стабилизации следует использовать элементы, обладающие возможно наиболее высоким коэффициентом готовности.

Техническая реализация третьего иерархического уровня управления СКВ в настоящее время еще не получила широкого развития. Однако актуальность проблемы оптимизации управления работой систем, например, по критериям минимума расхода тепловой и электрической энергии, безусловна. Известно, что изменение гидравлической мощности вентиляторов и насосов имеет характер кубической зависимости от изменения расхода перемещаемых воздуха или теплоносителя.

Разработаны электрические (в отличие от механических муфт, дросселей и т.д.) средства изменения производительности вентиляторов и насосов; например, тиристорные устройства управления частотой вращения трехфазных асинхронных двигателей. Однако в силу ряда обстоятельств, в том числе из-за отсутствия необходимых проектных разработок, регулирование расходов перемещаемых сред путем изменения режимов работы вентиляторов и насосов не нашло широкого применения в СКВ. В то же время организация автоматического выбора и переключения технологических режимов работы оборудования уже имеет место в отдельных случаях и будет получать все большее распространение.

Решение задач третьего уровня управления связано с обработкой информации и формированием управляющих воздействий путем решения дискретных логических функций или проведения ряда определенных вычислений. Для реализации подобных задач потребуются элементы вычислительной техники, логические устройства. Эти элементы и устройства отличаются от традиционных средств реализации первых двух уровней, к которым относятся локальные регуляторы одной переменной, регуляторы прямого действия и т.д. Конструктивные элементы различия и главным образом уровень сложности выполняемых функций обуславливают целесообразность выделения третьего уровня управления СКВ.

Рассмотренная структура технической реализации автоматического управления системами промышленной вентиляции и кондиционирования воздуха позволяет более рационально решить задачи дистанционного управления. Очевидно, что вынесению на центральный пункт управления системами подлежат сигналы первого уровня и сигналы и команды, необходимые для выполнения функций третьего

уровня. Причем третий уровень функциональных задач управления может решаться только на центральном пульте. Вынесение промежуточной информации о работе второго уровня управления на центральный пульт нецелесообразно хотя бы из-за необходимости увеличения емкости линий связи и перегрузки информацией оператора, работающего на центральном пульте.

Конструктивно автономное оформление трех уровней управления СКВ позволяет решить проблему организации профилактики и ремонта средств автоматического управления, выбора необходимого регламента обслуживания того или иного уровня, обеспечения необходимого объема запасных частей элементов и устройств автоматики.

Трехуровневая структура технической реализации управления и регулирования работой СКВ позволяет осуществить организацию эксплуатации систем в зависимости от специфики предприятия и его служб эксплуатации. Следует иметь в виду, что иерархическая структура управления СКВ предусматривает выполнение функциональных задач нижшим уровнем независимо от более высших. Это качество позволяет организовать управление СВ и СКВ с различной степенью развития.

По тем или иным соображениям условий эксплуатации или возможностям капитальных вложений система автоматического управления может быть реализована только с устройствами пуска, останова и приборами и устройствами предварительной защиты, т.е. при наличии только низшего уровня управления. Остальные функции управления в той или иной мере осуществляются обслуживающим персоналом вручную. Первый уровень может быть дополнен вторым уровнем, т.е. приборами и устройствами автоматической стабилизации, при этом функции выбора и переключения технологических режимов, автоматически осуществляемые приборами и устройствами третьего уровня, при их отсутствии осуществляются вручную.

При регулировании теплопроизводительности приточных камер наиболее распространенным является способ изменения расхода теплоносителя. Применяется также способ автоматического регулирования температуры воздуха на выходе из приточной камеры путем изменения расхода воздуха. Однако при раздельном применении этих способов не обеспечивается максимально допустимое использование энергии теплоносителя.

С целью повышения экономичности и быстродействия процесса регулирования можно применить совокупный способ изменения теплопроизводительности воздухоподогревателей установки. В этом случае система автоматического управления приточной камерой предусматривает выбор способа управления приточной камерой (местное, кнопками по месту, автоматическое со шита автоматизации), а также зимнего и летнего режимов работы; регулирование температуры приточного воздуха путем воздействия на исполнительный механизм

клапана на теплоносителе; автоматическое изменение соотношения расходов воздуха через воздухоподогреватели и обводной канал; защиту воздухоподогревателей от замерзания в режиме работы приточной камеры и в режиме резервной стоянки; автоматическое отключение вентиляторов при срабатывании защиты от замерзания в режиме работы; автоматическое подключение контура регулирования и открытие приемного клапана наружного воздуха при включении вентилятора; сигнализацию опасности замерзания воздухоподогревателя; сигнализацию нормальной работы приточной камеры в автоматическом режиме и подготовки к пуску.

Система автоматического управления приточной камерой (рисунок 1.22.1) работает следующим образом. Выбор способа управления производится поворотом переключателя *SA1* в положение «ручное» или «автоматическое», а выбор режима работы – переключателем *S12* поворотом его в положение «зима» или «лето».

Ручное местное управление электродвигателем приточного вентилятора *M1* производится кнопками *SB1* «Стоп» и *SB2* «Пуск» через магнитный пускатель *KM*; исполнительным механизмом *M2* приемного клапана наружного воздуха кнопками *SB5* «Открытие» и *SB6* «Закрытие» через промежуточные реле и собственные конечные выключатели; исполнительным механизмом *M3* клапана на теплоносителе кнопками *SB7* «Открытие» и *SB8* «Закрытие» через промежуточное реле *K5* и собственные конечные выключатели и исполнительным механизмом *M4* фронтально-обводного клапана кнопками *SB9*, *SB10*.

Включение–выключение электродвигателя *M1* вентилятора сигнализируется лампой *HL1* «Вентилятор включен», установленной на щите автоматизации.

релейно-импульсный прерыватель $P3$ подаются на исполнительный механизм $M4$ фронтальнообводного клапана.

Защита воздухоподогревательной установки от замерзания обеспечивается датчиком – реле температуры теплоносителя $P5$, чувствительный элемент которого установлен в трубопроводе теплоносителя сразу за первой по ходу воздуха секцией подогрева, и датчиком-реле температуры воздуха $P6$ чувствительный элемент которого установлен в воздуховоде между приемным клапаном наружного воздуха и воздухоподогревательной установкой. В случае опасности замерзания через промежуточное реле $K6$ производятся отключение электродвигателя $M1$ приточного вентилятора, открытие клапана на теплоносителе и включение сигнализации, а также закрытие приемного клапана наружного воздуха. Возникновение опасности замерзания сигнализируется лампой $HL3$ «Опасность замерзания» и звуковым сигналом ЯЛ.

В системах промышленной вентиляции широко распространено использование группы приточных камер (ПК), работающих в режиме поддержания одинаковой температуры приточного воздуха. Известны два способа регулирования теплопроизводительности группы приточных камер; изменением расхода теплоносителя и изменением температуры теплоносителя при неизменных расходах теплообмениваемых сред.

Первый способ регулирования позволяет простыми средствами поддерживать заданную теплопроизводительность ПК минимальным количеством теплоносителя, обеспечивать гидродинамическую стабилизацию системы. Однако при его использовании необходимо принимать особые меры по защите теплообменников от замерзания, что особенно важно при наличии определенного запаса по площади поверхности нагрева.

В зарубежной практике широко применяется второй способ регулирования теплопроизводительности, который в отечественной практике не нашел достаточного распространения по ряду причин. Тем не менее этот способ завоевывает все большую популярность, так как позволяет минимальными средствами автоматически решать проблему защиты от замерзания. Кроме того, при его использовании исключаются перерасходы теплоты на воздушное отопление и вентиляцию помещений, т. е. уменьшаются суммарные за отопительный период расходы поступающего от ТЭЦ теплоносителя.

Системой автоматического управления группой приточных камер предусматривается регулирование теплопроизводительности воздухоподогревательных установок изменением температуры подаваемого теплоносителя при постоянном расходе воздуха и теплоносителя через них путем подмешивания части теплоносителя из обратной линии в подающую.

На рисунке 1.22.2 представлена упрощенная функциональная схема системы. Группа воздухоподогревательных установок приточных камер ПК1-ПКп, соединенных по теплоносителю параллельно, связана трубопроводами с узлом подготовки теплоносителя, состоящим из насосов $H1$ и $H2$ (один резервный), обратного клапана $K1$ и регулирующего клапана $K2$ и регулятора давления $PД$. На обратном трубопроводе перед узлом подготовки установлено реле протока теплоносителя РПТ.

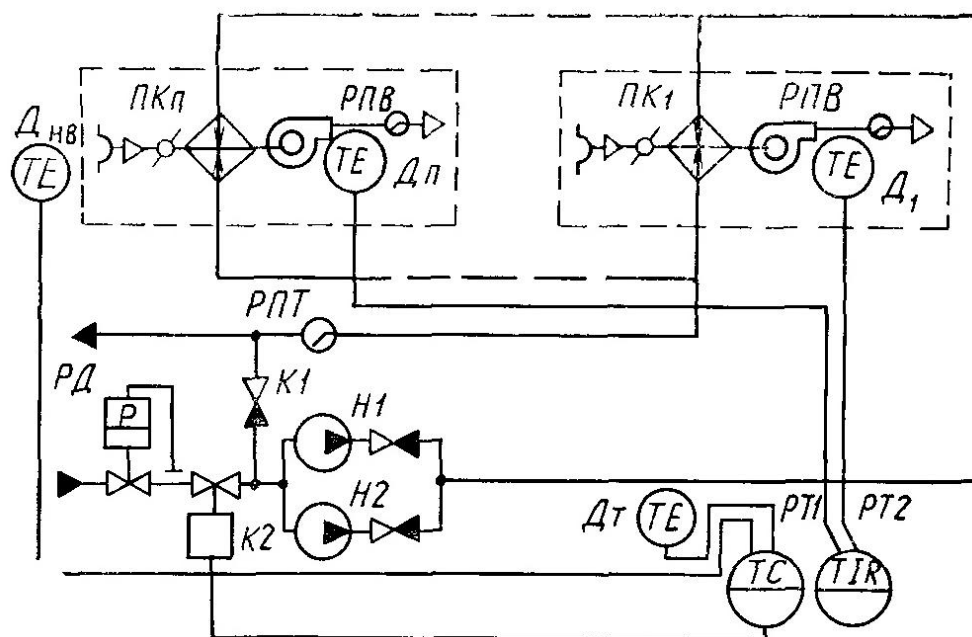


Рисунок 1.22.2 – Функциональная схема управления группой приточных камер

Исполнительный механизм клапана $K2$ электрически связан с регулятором $PТ1$, на входы которого подсоединены датчики $ДТ$ температуры теплоносителя в подающей линии на выходе из узла подготовки и датчик $Д_{н.в}$ температуры наружного воздуха. На схеме представлены также элементы сигнальной аппаратуры: •сигнализатор температуры приточного воздуха $PТ2$ с датчиками $Д1–Д_n$ и реле протока воздуха $PПВ$, установленные в каждой приточной камере. Сигнализатор $PТ2$ конструктивно выполнен в виде регулирующего многоточечного моста $KСМ$, выходные контакты которого, так же, как и контакты $PПВ$ замыкают цепи световой и звуковой сигнализации.

Разработанная система обеспечивает управление группой приточных камер в ручном и автоматическом режимах.

1.23 Автоматизация систем кондиционирования воздуха

Регулирование систем кондиционирования воздуха основано на анализе стационарных и нестационарных тепловых процессов.

Изучение закономерностей изменения режима работы в течение годового периода эксплуатации связано в основном с рассмотрением стационарных тепловых процессов, поскольку в этом случае изменение расчетных среднесуточных и среднемесячных значений возмущающих воздействий (например, температуры наружного воздуха, солнечной радиации и т.д.) происходит значительно медленнее по сравнению с переходными тепловыми процессами в помещении и системе. Анализ режимов работы и регулирования систем в этом случае проводится с целью оптимального выбора контуров регулирования и является исходным для определения годовых расходов теплоты и холода – важных показателей экономической эффективности систем кондиционирования воздуха [5].

Регулирование систем кондиционирования воздуха в течение коротких промежутков времени (в пределах нескольких часов или суток под влиянием нерегулярных возмущающих воздействий) определяется главным образом нестационарными тепловыми процессами, так как время изменения возмущающих воздействий соизмеримо со временем переходных тепловых процессов в помещении и системе. Анализ нестационарных тепловых процессов в расчетные (теплый и холодный) периоды года проводится с целью определения максимальной тепловой мощности систем кондиционирования воздуха, а также наиболее выраженной динамики ее изменения, что позволяет определить требуемые характеристики регулирующих устройств.

Самым невыгодным будет процесс регулирования при скачкообразном или близком к скачкообразному изменению возмущающих воздействий. В этом случае длительность и характер переходных тепловых процессов будут полностью определяться динамическими свойствами системы кондиционирования и помещения как объекта регулирования и характеристиками регулирующих устройств.

При рассмотрении вопросов режима СКВ прежде всего следует проанализировать ее работу в течение года и в расчетных летних и зимних условиях. Необходимо установить качественные и количественные изменения всех компонентов, определяющих процесс кондиционирования и работу отдельных элементов системы, в результате чего будут определены характеристики расчетного режима работы СКВ и технологические приемы реализации этого режима, на основании анализа возможных наиболее невыгодных разовых возмущений будут выявлены технологические характеристики расчетного режима регулирования СКВ.

Совместное рассмотрение технологических приемов поддержания режима работы и регулирования СКВ, а также решения по оптимизации энергопотребления при заданной обеспеченности расчетных внутренних условий и разработка некоторых других специальных вопросов позволят определить технологическую схему управления СКВ. Дальнейшая задача состоит в автоматизации принятой технологической схемы управления СКВ, которая автоматически обеспечит

заданный режим работы и регулирование отдельных элементов и системы в целом в оптимальном режиме.

Управление системами кондиционирования воздуха (СКВ) является более общим понятием и кроме рассмотренных ранее вопросов работы и регулирования включает также блокировку, выбор режимов работы (в том числе включения и выключения системы), защиты оборудования установок кондиционирования воздуха.

Эффективное управление СКВ по выбранной схеме невозможно без ее автоматизации.

С помощью приборов и устройств автоматики, входящих в схему управления СКВ, решаются задачи командного пуска и остановки агрегатов, автоматического поддержания заданных режимов работы как отдельных, так и нескольких агрегатов системы. Приборы и устройства автоматики осуществляют контроль и сигнализацию предаварийных ситуаций, а также автоматическое выключение оборудования в случае аварии.

Раздельное или совокупное поддержание заданных режимов работы СКВ проводится приборами и устройствами автоматики, образующими как простые локальные контуры регулирования, так и сложные многоконтурные системы автоматического регулирования (САР). Качество работы СКВ определяется главным образом соответствием создаваемых параметров микроклимата в помещениях здания или сооружения их требуемым значениям и зависит от правильности выбора как технологической схемы и ее оборудования, так и элементов системы автоматического управления этой схемы.

1.24 Защита воздухонагревателей от замерзания

При низких температурах наружного воздуха (отрицательных и близких к 0 °С) возникает опасность замораживания воздухонагревателей (для кондиционеров это касается воздухонагревателей первого подогрева). При этом температура обратного теплоносителя может опуститься ниже допустимой. Поэтому необходимо обеспечить защиту воздухонагревателей от замораживания, что осуществляется с помощью двух-трех термостатов. Один термостат 8 (см. рисунок 1.24.1) устанавливается на месте входа наружного воздуха в кондиционер. Второй термостат 9 устанавливается на трубопроводе обратного теплоносителя, после первого по ходу воздуха воздухонагревателя. Третий термостат 10 (применяется, как правило в импортных воздухонагревателях) устанавливается на воздухонагревателе первого подогрева со стороны противоположной ходу воздуха [2].

Система защиты срабатывает если температура обратного теплоносителя опускается ниже 20-25 °С при температуре наружного воздуха ниже + 3 °С или если температура воздуха после воздухонагревателя первого подогрева опускается ниже 5 °С.

Защита воздухонагревателей от замораживания в трех режимах работы систем осуществляется следующим образом:

Режим 1. Режим стоянки вентиляционной системы. При срабатывании системы защиты от замораживания регулирующий клапан на трубопроводе теплоносителя открывается полностью и остается в этом положении до повышения температуры, измеряемой термостатом (до 25-30 °С).

Режим 2. Режим пуска вентиляционной системы. Если в момент пуска системы защита от замораживания сработала, то вентилятор 1 (см. рисунок 1.24.1) не включается, воздушная заслонка 4 не открывается, а регулирующий клапан на трубопроводе теплоносителя 6 (если он еще не открыт) открывается полностью. Включение вентсистемы осуществляется автоматически, после разблокировки вентилятора 1 системой защиты воздухонагревателей от замораживания.

Режим 3. Вентсистема работает. В этом случае при срабатывании системы защиты от замораживания регулирующий клапан 6 на трубопроводе теплоносителя полностью открывается, а выключение вентилятора задерживается на время, которое устанавливается при наладке системы. Если в течение времени задержки температура обратного теплоносителя не поднялась до требуемого уровня, вентилятор 1 выключается, воздушная заслонка 4 закрывается, подается аварийный сигнал.

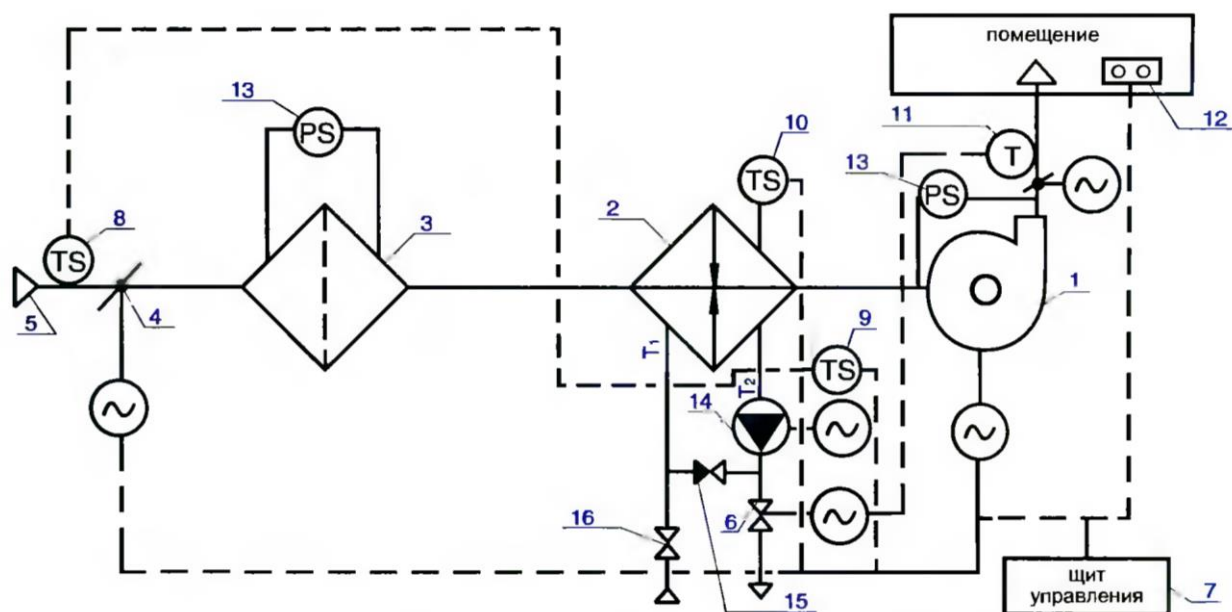


Рисунок 1.24.1 – Базовая схема автоматизации приточной вентиляционной камеры с постоянной температурой приточного воздуха:

- 1 – вентилятор; 2 – воздухонагреватель; 3 – фильтр; 4 – воздушная заслонка;
- 5 – воздухозаборная решетка; 6 – регулирующий клапан; 7 – щит управления;
- 8, 9 и 10 – термостаты защиты воздухонагревателя от замораживания;
- 11 – датчик температуры приточного воздуха;
- 12 – кнопка дистанционного пуска; 13 – датчики перепада давления; 14 – насос;
- 15 – обратный клапан; 16 – шаровой кран

В схемах обвязки воздухонагревателей современных систем В и КБ применяются насосы, обеспечивающие более надежную защиту воздухонагревателя от замораживания. Работа насоса обеспечивает циркуляцию теплоносителя через калорифер по малому кольцу.

Ввиду того что циркуляционные насосы (Grundfos и др.) работают при температуре теплоносителя до 110 °С, они устанавливаются, как правило, на обратном трубопроводе.

В рабочем режиме в холодный период года насос работает постоянно. В режиме стоянки вентсистемы насос работает в системе защиты воздухонагревателей от замораживания при $t < +3$ °С. Для большей надежности работы системы предпочтительна установка двух насосов (один - резервный). Регулирующий клапан может быть установлен двухходовой или трёхходовой в зависимости от условий присоединения к источнику теплоснабжения. Если источником теплоснабжения является ТЭЦ, следует устанавливать двухходовой клапан.

1.25 Состав и содержание проекта

В соответствии с существующими инструкциями и сложившейся практикой проектирования проект системы автоматического управления технологическим процессом содержит графическую (чертежи и схемы) и текстовую части [5].

Графическая часть проекта включает:

1) функциональную схему технологического контроля, автоматического регулирования, управления и сигнализации, предназначенную для пояснения функций, выполняемых системой управления, использованных методов и законов контроля и регулирования;

2) чертежи общих видов щитов и пультов управления, содержащие упрощенное изображение щитов, пультов и приборов на них, общие габаритные размеры щитов и координаты расположения приборов;

3) принципиальные электрические, пневматические, гидравлические схемы автоматического управления, регулирования и сигнализации, предназначенные для получения детального представления о принципах работы системы, определения полного состава их функциональных частей и связей между ними, необходимые для разработки рабочей документации.

Для сложных систем управления дополнительно составляют:

а) схему взаимосвязей между пунктами контроля и управления, предназначенную для пояснения принципов информационной и функциональной связи между ними;

б) чертеж расположения щитов и пунктов контроля и управления, содержащий упрощенный план расположения технологического оборудования и нанесённых на нем щитов и пультов.

При выполнении рабочего проекта функциональные и принципиальные схемы разрабатываются повторно с учетом изменений технологической части проекта и замечаний по схемам автоматизации, сделанных при рассмотрении технологического проекта. При отсутствии изменений и замечаний эти схемы включаются в состав рабочих чертежей без переработки.

В процессе рабочего проектирования разрабатываются графические материалы:

1) принципиальные схемы питания приборов энергией, поясняющие принципы обеспечения аппаратуры энергией и ее защиты;

2) монтажные схемы щитов, пультов и соединительных коробок, содержащие упрощенное изображение щитов, пультов, соединительных коробок и расположенных в них приборов, электрических и трубных коммуникаций между ними и данные, необходимые для их монтажа;

3) схемы внешних электрических и трубных проводок, предназначенные для определения связей между аппаратурой, устанавливаемой на технологических агрегатах, щитами и пультами управления;

4) чертежи расположения аппаратуры, электрических и трубных проводок, предназначенные для определения относительного расположения технических средств системы управления и необходимых связей между ними;

5) чертежи установки аппаратуры, вспомогательных устройств, щитов и пультов управления, содержащие данные, необходимые для их монтажа.

При одностадийном проектировании в состав рабочего проекта входит полный комплект графических материалов.

Исходные данные для проектирования содержатся в техническом задании на разработку системы автоматического управления технологическим процессом. Техническое задание подготавливается разработчиками технологического процесса или технологической установки, подлежащих автоматизации. В его создании должны принимать участие будущие исполнители-проектировщики системы управления.

Задание на разработку системы содержит технические требования, предъявляемые к ней заказчиком. Кроме того, к нему прилагается комплект материалов, необходимых для проектирования.

Основными элементами задания являются перечень объектов автоматизации технологических агрегатов и установок, а также функции, выполняемые системой контроля и регулирования, обеспечивающей автоматизацию управления этими объектами. Задание содержит ряд данных, которые определяют общие требования и характеристики системы, а также описывают объекты управления. Эта часть задания состоит из трех разделов:

1) обоснование разработки;

2) условия эксплуатации системы;

3) описание технологического процесса.

Обоснование разработки содержит ссылки на основные документы, определяющие порядок проектирования автоматизированного технологического процесса, плановые сроки проектирования, стадийность проектирования, допустимым уровнем затрат на создание системы управления, технико-экономическое обоснование целесообразности проектирования автоматизации и оценку подготовленности объекта к автоматизации.

Описание условий эксплуатации проектируемой системы содержит условия протекания технологического процесса (пыле-, взрыво-, пожароопасность, содержание влаги, агрессивных примесей в окружающей среде, шум, вибрации и т.п.), требования к степени централизации контроля и управления, к выбору режимов управления, к унификации аппаратуры автоматизации, условия ремонта и обслуживания парка приборов на предприятии, данные об источниках энергии для питания аппаратуры автоматики.

Описание технологического процесса включает:

- а) технологические схемы процесса;
- б) чертежи производственных помещений с размещением технологического оборудования;
- в) чертежи технологического оборудования с указанием конструкторских узлов для установки датчиков контроля;
- г) схемы электроснабжения;
- д) схемы воздухоснабжения;
- е) данные для расчетов систем контроля и регулирования;
- ж) данные для расчета технико-экономической эффективности системы автоматизации.

1.26 Функциональная схема автоматического контроля систем теплоснабжения

Функциональная схема автоматического контроля и управления предназначена для отображения основных технических решений, принимаемых при проектировании системы автоматизации технологических процессов. Она является одним из основных документов проекта и входит в его состав при разработке технической документации на всех стадиях проектирования [5].

В процессе разработки функциональной схемы формируются структура создаваемой системы и функциональные связи между объектом управления – технологическим процессом и аппаратурной частью системы – приборами управления и сбора информации о состоянии технологического процесса (рисунок 1.26.1).

При создании функциональной схемы определяют:

- 1) целесообразный уровень автоматизации технологического процесса;

- 2) принципы организации контроля и управления технологическим процессом;
- 3) технологическое оборудование, управляемое автоматически, дистанционно или в обоих режимах по заданию оператора;
- 4) перечень и значения контролируемых и регулируемых параметров;
- 5) методы контроля, законы регулирования и управления;
- 6) объем автоматических защит и блокировок автономных схем управления технологическими агрегатами;
- 7) комплект технических средств автоматизации, вид энергии для передачи информации;
- 8) места размещения аппаратуры на технологическом оборудовании, на щитах и пультах управления.

Функциональная схема автоматического контроля и управления содержит упрощенное изображение технологической схемы автоматизируемого процесса или агрегата. Технологическая схема состоит из цепи устройств или агрегатов, расположенных в соответствии с технологическим процессом.

Оборудование на схеме показывается обычно в виде условных изображений, соединенных между собой линиями технологических связей, которые отражают направление потоков вещества или энергии.

На функциональной схеме изображаются системы автоматического контроля, регулирования, дистанционного управления, сигнализации, защиты и блокировок. Все элементы систем управления показываются в виде условных изображений и объединяются в единую систему линиями функциональной связи. Нанесенные на условные изображения буквенные обозначения отражают функции, выполняемые аппаратурой управления.

На функциональной схеме показывается также различная аппаратура управления: устройства, устанавливаемые на технологических агрегатах и потокопроводах: первичные приборы (датчики) и регулирующие органы; приборы, монтируемые около технологической аппаратуры (по месту), но не на щитах управления; блоки усилителей, преобразователи сигналов, магнитные пускатели, местные измерительные приборы, исполнительные механизмы; аппаратура, устанавливаемая на щитах и пультах управления; вторичные приборы, регуляторы, ключи управления, сигнальные лампы. Для изображения каждой группы приборов на схеме выделяется специальная зона (рисунок 1.26.1).

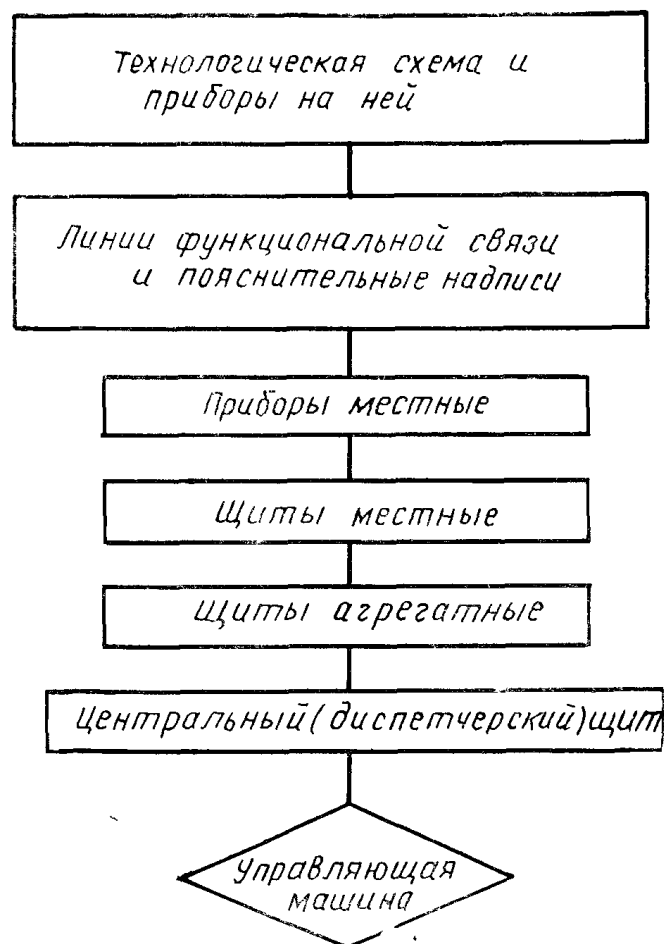


Рисунок 1.26.1 – Структура размещения зон функциональной схемы автоматического контроля и управления

Кроме того, на схеме даются текстовые пояснения, отражающие назначение и характеристики технологических агрегатов, величины контролируемых и регулируемых параметров, условия блокировки и сигнализации.

Функциональная схема автоматического контроля и управления – основной документ проекта, на котором показаны все системы управления процессом, принципы их построения и взаимосвязи, использованные методы контроля, поэтому в процессе работы над проектом необходимо постоянно обращаться к схеме, чтобы все принципы, заложенные в систему управления при разработке функциональной схемы, были реализованы, а новые идеи, возникшие при работе над проектом, находили в ней отражение.

При обсуждении и анализе предполагаемой системы управления удобно пользоваться функциональной схемой, отражающей в концентрированном виде основное содержание проекта. В дальнейшем (в процессе монтажа, наладки и эксплуатации) изучение проекта начинается с подробного ознакомления с функциональной схемой. В соответствии с существующей практикой

функциональная схема является основанием для составления заявочной спецификации на приобретение приборов и средств автоматизации.

В некоторых случаях, когда функциональная схема оказывается весьма насыщенной, ее можно разделить на несколько схем, выделяя системы управления отдельными агрегатами технологического процесса.

Измеряемые (управляемые) технологические параметры и функции, выполняемые прибором, обозначают буквами латинского алфавита.

При этом применяются следующие обозначения:

D - плотность;

P - давление;

F - расход;

Q - состав, концентрация;

G - размер, перемещение;

R - радиоактивность;

H - ручное воздействие;

S - скорость, частота;

K - время, временная программа;

T - температура;

U - несколько измеряемых величин;

L - уровень;

M - влажность;

V - вязкость;








N - резерв (аппаратура управления электродвигателей);

X - нереконмендованная резервная буква;

O - резерв;

Дополнительные буквы: D - разность, перепад; F - соотношение; J - автоматическое переключение, обегание; Q - интегрирование, суммирование по времени.

Таблица 9.2.1. Обозначение приборов и средств автоматизации (ОСТ 36-27-77)

Наименование	Изображение
Первичный измерительный прибор (преобразователь, датчик) устанавливаемый по месту	
Прибор, устанавливаемый на щите	
Отборное устройство без постоянного подключения прибора	
Исполнительный механизм	
Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом	
Регулирующий орган	
Линия функциональной связи	

В схемах указываются следующие функциональные признаки приборов:

- отображение информации: А – сигнализация; I – показание; R – регистрация;
- формирование выходного сигнала: С – регулирование; S – включение, отключение, переключение, сигнализация (H и L – соответственно верхний и нижний пределы параметров).

Для дополнительных обозначений, отражающих функциональные признаки приборов и преобразователей сигналов, используют буквы: E – чувствительный элемент (первичное преобразование); T – дистанционная передача; K – станция управления; E, P и G – соответственно электрический, пневматический и гидравлический сигналы.

Указанная методика построения функциональных схем полностью сохраняется и может быть развернутой или упрощенной. Обозначения технологических параметров и функциональных признаков записываются в верхней части круга. Порядок расположения буквенных обозначений (слева направо) должен быть следующим: обозначение основной измеряемой величины; обозначение, уточняющее (если необходимо) основную измеряемую величину; обозначение функционального признака прибора. Функциональные признаки также располагаются в определенном порядке, например, IRCSA. В нижней части круга или под чертой щитового прибора указывается номер позиции.

При условном обозначении приборов следует указывать лишь те признаки, которые являются существенными в данной системе контроля или управления. Например, при обозначении приборов контроля и управления температурным режимом могут быть применены следующие обозначения: TE – первичный преобразователь; TS – сигнализатор, переключатель блокировок; TA – сигнализатор (используются только лампы прибора); TC – регулятор; TI – показывающий и

преобразующий прибор; TJR – прибор регистрирующий с обегаяющим устройством; TIRC – прибор показывающий, регистрирующий, регулирующий.

На рисунке 9.2.2 показан пример построения функциональной схемы с использованием условных обозначений по ОСТ 36-27-77.

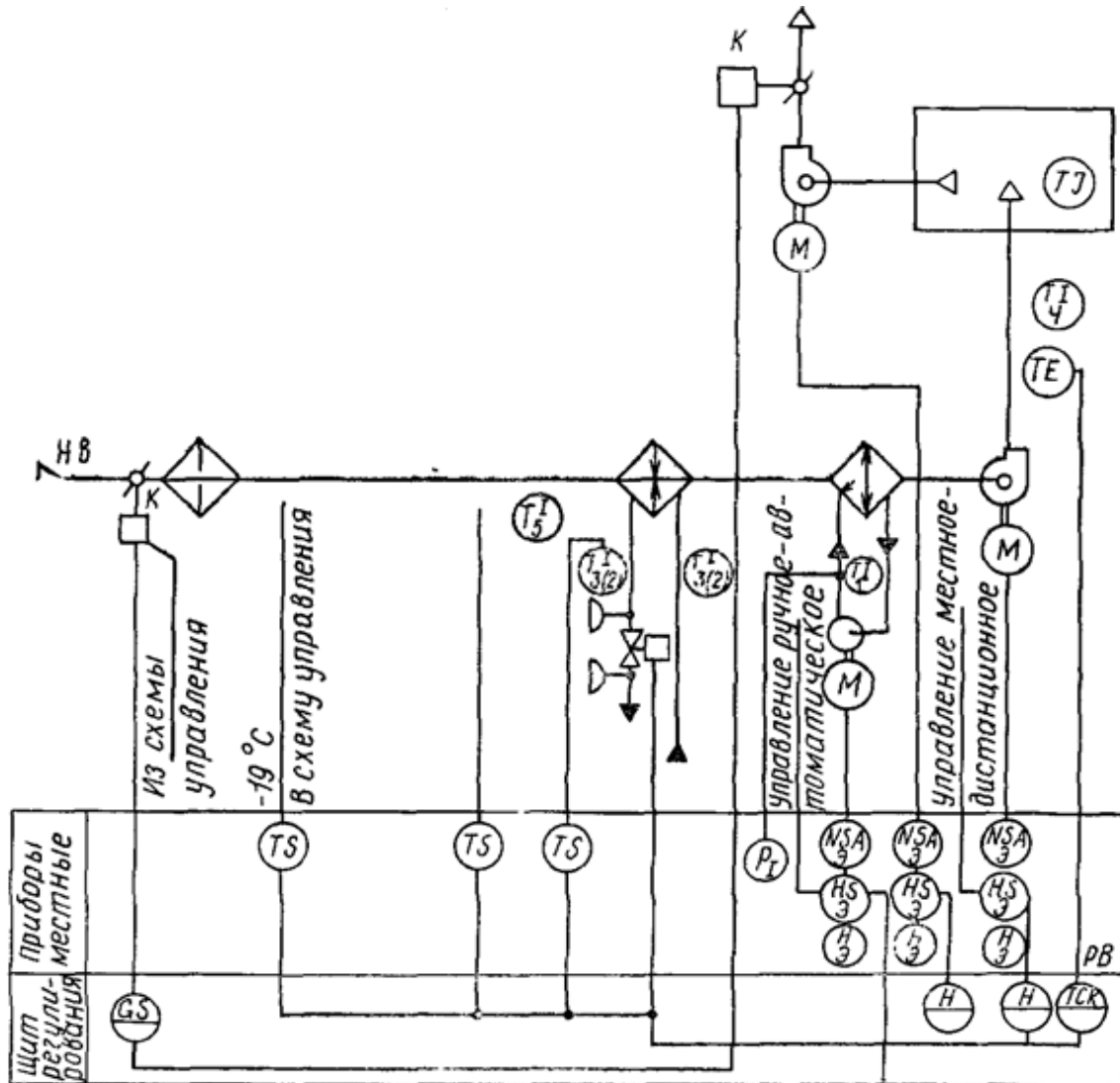


Рисунок 9.2.2 – Функциональная схема автоматизации вентиляционной установки

Электронный учебно-методический комплекс

Практический раздел

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Минск 2017 г.

2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

2.1 Примерный перечень тем практических занятий по дисциплине «Автоматизация систем теплоснабжения»

1. Исследование статистических и динамических свойств чувствительного элемента (термоэлектрического преобразователя) как инерционного звена в АСР.
2. Динамические характеристики идеального и реального ПИД-регуляторов.
3. Изучение экспериментальных методов определения динамических характеристик объектов регулирования с помощью переходных характеристик.
4. Изучение экспресс-методов идентификации объектов регулирования в виде последовательного соединения инерционных звеньев n -го порядка.
5. Исследование статических и динамических свойств дифманометра как безынерционного звена в АСР.
6. Определение оптимальных параметров настройки регулятора АСР реального теплоэнергетического объекта.

2.2 Примерный перечень тем лабораторных работ по дисциплине «Автоматизация систем теплоснабжения»

1. Изучение работы стенда для исследования динамики систем отопления и горячего водоснабжения в процессе регулирования с последующей передачей основных технологических параметров на ПК.
2. Изучение принципа действия регулятора температуры РТМ-03А.
3. Изучение способов подключения и взаимодействия регулятора температуры РТМ-03А с ПЭВМ.
4. Изучение принципа действия теплосчетчиков.
5. Изучение основ программирования функций регуляторов температуры РТМ-03А.
6. Изучение основ программирования настроечных параметров для работы систем регулирования отопления по ГТ.
7. Изучение основ программирования настроечных коэффициентов и функций насоса систем отопления и ГВС.

2.3 Примерный перечень тем курсовых работ по дисциплине «Автоматизация систем теплоснабжения»

1. Выбор и обоснование систем автоматизации теплоснабжения конкретных объектов, например, тепловых пунктов.
2. Выбор элементов гидравлической системы.
3. Расчет режима работы систем теплоснабжения.

4. Расчет расходных, тепловых и гидравлических параметров теплоносителя.
5. Расчет и выбор теплообменников.
6. Расчет и выбор насосов.
7. Расчет и выбор регулирующих клапанов.
8. Расчет и выбор типа регулятора.

Целью курсовой работы является приобретение обучающимися представления о структуре тепловых сетей, методике выбора способов регулирования основных параметров систем теплоснабжения и выборе регулирующих органов систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Данная курсовая работа представляет собой расчет тепловой сети района с выбором средств автоматизации отдельных элементов и техническим обоснованием способов регулирования.

В качестве спецвопроса студентам рекомендуется рассмотреть конструкцию, принцип действия и технические характеристики различных регуляторов, применяемых для автоматизации систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения; особенности способов регулирования основных параметров различных систем теплоснабжения.

Графическая часть работы состоит из трех листов формата А2, которые включают в себя годовой график отопительной нагрузки системы теплоснабжения, чертеж выбранного регулирующего органа и функциональную схему автоматизированной системы.

Примерный объем курсовой работы 25-30 печатных страниц формата А4.

На выполнение курсовой работы учебным планом отводится 40 часов.

Электронный учебно-методический комплекс

Раздел контроля знаний

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

Минск 2017 г.

3 ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

1. Структура системы централизованного теплоснабжения (СЦТ).
2. Характеристики элементов систем СЦТ.
3. Задачи, решаемые АСУ ТП теплоснабжения.
4. Регулируемые параметры в отапливаемом помещении.
5. Рабочая зона помещения. Температура воздуха внутри помещения: средняя, результирующая.
6. Микроклимат в жилом помещении.
7. Параметры регулирования горячего водоснабжения.
8. Гидродинамическое давление в тепловых сетях.
9. Управляющие воздействия для обеспечения гидравлических режимов.
10. Регулируемые параметры для систем теплоснабжения.
11. Расход теплоты.
12. Способы организации регулирования расхода теплоты.
13. Пьезометрический график.
14. Возмущающие воздействия в системах ТС и отопления.
15. Внешние возмущающие воздействия в системах ТС и отопления.
16. Внутренние возмущающие воздействия в системах ТС и отопления.
17. Способы компенсации влияния внутренних возмущающих воздействий.
18. Управляющие воздействия для стабилизации режима помещения.
19. Влияние ГВС на режим работы систем ТС и отопления.
20. Управляющие воздействия в системах ТС: изменение параметров и расхода теплоносителя.
21. Управляющие воздействия в системах ТС: регулирование частотой, дроссельное регулирование, направляющим аппаратом.
22. Закономерности смещения теплоносителей. Изменение поверхности нагрева.
23. Качественное и количественное регулирование.
24. Способы организации системы ГВС.
25. Пути устранения влияния горячего водоснабжения на системы отопления.
26. Уравнение нестационарного теплообмена объектов систем теплоснабжения.
27. Динамические характеристики здания.
28. Кривые разгона для помещения и его элементов.
29. Влияние способа вентиляции на динамические характеристики помещения.
30. Динамические характеристики систем отопления.
31. Передаточные функции систем отопления.
32. Динамические характеристики теплообменных аппаратов и котельных установок.

33. Передаточные функции теплообменных аппаратов и котельных установок.
34. Статические характеристики насосов и вентиляторов.
35. Статические характеристики регулирующих органов.
36. Динамика оросительных камер установок кондиционирования.
37. Динамические характеристики воздухонагревателей.
38. Автоматизация подпиточных устройств.
39. Автоматизация теплофикационных деаэраторов.
40. Автоматизация сетевых подогревателей.
41. Автоматизация включения резервных сетевых насосов и защиты от повышения давления сетевой воды.
42. Автоматизация насосных подстанций.
43. Автоматизация узлов ГВС.
44. Автоматическое регулирование при закрытой системе теплоснабжения.
45. Автоматическое регулирование при открытой системе теплоснабжения.
46. Схемы автоматического регулирования температуры воды горячего водоснабжения.
47. Автоматизация систем отопления при закрытых тепловых сетях.
48. Автоматизация при двухступенчатой последовательной схеме присоединения абонентов.
49. Способы автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление.
50. Автоматизация приточных камер.
51. Регулирование производительности групп приточных камер.
52. Функциональная схема управления приточной камерой.
53. Автоматизация систем кондиционирования воздуха.
54. Функциональная схема системы кондиционирования воздуха.
55. Защита воздухонагревателей от замерзания.
56. Состав и содержание проекта автоматизации системы теплоснабжения.
57. Функциональная схема автоматического контроля и ее основные элементы.
58. Тепловой и гидравлический режимы автоматизированных систем отопления.
59. Автоматизация устройств утилизации выбросной теплоты.
60. Годовой режим работы систем кондиционирования воздуха.
61. Основные принципы построения автоматизированных систем управления теплоснабжением.
62. Регуляторы температуры воды на циркуляционной магистрали.
63. Элеваторы в системах автоматического регулирования температуры сетевой воды.
64. Регуляторы давления на обратном трубопроводе систем горячего водоснабжения.
65. Регуляторы давления на обратном трубопроводе систем отопления.

66. Регулирование разности температур воды в подающем и обратном трубопроводе систем отопления в зависимости от температуры наружного воздуха.
67. Регулирования холодопроизводительности воздухоохладителей.
68. Автоматические воздухоотводчики.

Электронный учебно-методический комплекс

Вспомогательный раздел

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Учебная программа

Минск 2017 г.

4 УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА
Белорусский национальный технический университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
Белорусского национального
технического университета

_____ О.К. Гусев

_____ /уч.
Регистрационный № УД-_____ /уч.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности**

**1-53 01 04 «Автоматизация и управление теплоэнергетическими
процессами»**

2017 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-53 01 04-2013.

СОСТАВИТЕЛЬ:

В.В. Кравченко, доцент кафедры «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета, кандидат экономических наук, доцент,

А.А. Павловская, ассистент кафедры «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В.А. Седнин, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор;

Е.А. Дерюгина, доцент кафедры «Электрические станции» Белорусского национального технического университета, кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета

(протокол №_11_ от __7 марта___ 2017 г.)

Заведующий кафедрой _____

Н.Б. Карницкий

Методической комиссией факультета энергетического факультета

Белорусского национального технического университета

(протокол №_7_ от __30 марта___ 2017 г.)

Председатель методической комиссии _____

Е.Г. Пономаренко

Научно-методическим советом Белорусского национального технического университета (протокол №_4_ секции №1 от _____20.04___ 2017 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Автоматизация систем теплоснабжения» разработана для специальности 1-53 01 04 «Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами».

Целью изучения дисциплины является приобретение студентами теоретических знаний для расчета, проектирования и эксплуатации автоматизированных систем теплоснабжения, отопления, вентиляции.

Основной задачей преподавания учебной дисциплины является подготовка студентов к будущей практической деятельности, связанной с проектированием и эксплуатацией средств автоматизации систем теплоснабжения.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении курсов: "Контрольно-измерительные приборы и измерения", "Котельные установки", "Теоретические основы теплотехники", "Автоматизированные системы управления технологическими процессами". Знания, полученные при изучении данного курса, используются при дипломном проектировании и практической работе в области промышленной теплоэнергетики.

В результате освоения дисциплины «Автоматизация систем теплоснабжения» студент должен:

знать:

- основы технической термодинамики, теплообмена и гидрогазодинамики для выполнения конструкторских и поверочных расчетов при проектировании систем теплоснабжения;
- структуру конструктивного исполнения регулирующих органов и устройств, обеспечивающих их работу;
- существующие средства автоматизации и регулирования систем теплоснабжения;

уметь:

- производить выбор средств автоматизации систем теплоснабжения;
- производить выбор способа регулирования основных параметров в системах теплоснабжения;
- выполнять расчеты схем систем теплоснабжения;

владеть:

- методами повышения экономичности работы отдельных элементов и системы теплоснабжения в целом;
- методами расчета различных режимов работы систем теплоснабжения;
- методами расчета расходных, тепловых и гидравлических параметров теплоносителя;
- навыками построения функциональных схем автоматизации.

Освоение данной учебной дисциплины обеспечивает формирование следующих компетенций:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач в области автоматизации теплоэнергетических процессов.

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем автоматизации теплоэнергетических процессов.

ПК-3. На основе технической и оперативной документации выявлять причины неоптимальности технологического процесса производства, преобразования и распределения электрической и тепловой энергии и разрабатывать пути их устранения.

ПК-4. Принимать участие в развитии комплексов автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), автоматизированных систем контроля и управления тепловой и электрической энергии с целью повышения качества и надежности энергоснабжения потребителей.

ПК-12. Разрабатывать пути повышения экономичности, надежности, долговечности, безопасности и экологичности работы теплоэнергетического оборудования и технических средств автоматизации и управления.

ПК-25. Готовить доклады, материалы к презентациям.

Согласно учебным планам на изучение учебной дисциплины отведено всего 200 ч., из них аудиторных – 80 часов;

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено ниже.

Таблица 1.

Очная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
5	9	48	16	16	курсовая работа, экзамен

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

РАЗДЕЛ I. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И ЦЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ОТОПЛЕНИЯ

Тема 1.1. Характеристика системы централизованной системы ТС как объекта управления

Структура системы централизованного теплоснабжения (СЦТ). Схема функциональных связей системы централизованного теплоснабжения. Особенности СЦТ как объекта управления. Характеристики элементов систем СЦТ.

Тема 1.2. Задачи, решаемые АСУ ТП теплоснабжения: задачи автоматизации

Цели АСУ ТП теплоснабжения. Новые принципы построения тепловых сетей, с учетом задач автоматизации. Центральная ступень управления, районное управление, групповое, местное, позонное (пофасадное), индивидуальное. Их характеристика и вклад в совершенствование управления режимами теплоснабжения и отопления.

РАЗДЕЛ II. РЕГУЛИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ОТОПЛЕНИЯ

Тема 2.1. Регулируемые параметры в отапливаемом помещении

Оптимальные метеопараметры. Допустимые метеопараметры. Необходимые метеопараметры. Задачи управления микроклиматом помещения. Рабочая зона помещения. Средняя температура воздуха внутри помещения. Результирующая температура.

Тема 2.2. Микроклимат в жилом помещении

Особенности микроклимата в общественных и производственных зданиях: оптимальные метеопараметры жилых помещений. Условия комфортности. Нормируемые параметры микроклимата для различных категорий помещений. Влияние специфики производства на поддержание заданных параметров микроклимата в производственных помещениях.

Тема 2.3. Параметры регулирования горячего водоснабжения

Особенности горячего водоснабжения (ГВС), как вида теплоиспользования. Контролируемые и регулируемые параметры в системах ГВС. Требования предъявляемые к температуре ГВС для различных систем ГВС. Нижние пределы температуры ГВС. Напор в точках водоразбора. Цели регулирования систем ГВС.

Тема 2.4. Регулируемые параметры для систем теплоснабжения

Гидродинамическое давление в тепловых сетях. Управляющие воздействия для обеспечения гидравлических режимов. Расход теплоты. Методики определения расхода теплоты.

РАЗДЕЛ III. ВОЗМУЩАЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ОТОПЛЕНИЯ

Тема 3.1. Внешние и внутренние возмущающие воздействия

Краткая характеристика внешних возмущающих воздействий. Температура наружного воздуха. Ветер. Солнечная радиация. Способы компенсации влияния внутренних возмущающих воздействий. Краткая характеристика внутренних возмущающих воздействий. Бытовые тепловыделения. Управляющие воздействия для стабилизации режима помещения.

Тема 3.2. Влияние горячего водоснабжения на режим работы систем теплоснабжения

Режимы водопотребления. Коэффициент неравномерности. Способы организации системы ГВС. Сочетание различных видов регулирования в тепловых сетях и способов водоразбора. Характер влияния горячего водоснабжения на работу систем отопления и тепловой сети. Пути устранения влияния горячего водоснабжения на системы отопления.

РАЗДЕЛ IV. УПРАВЛЯЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ОТОПЛЕНИЯ

Тема 4.1. Классификация управляющих воздействий

Изменение температуры теплоносителя, изменение расхода теплоносителя. Регулирование частотой вращения насоса. Дроссельное регулирование. Регулирование направляющим аппаратом на входе в рабочее колесо. Закономерности смещения теплоносителей. Изменение поверхности нагрева. Изменение условий теплообмена. Количественное регулирование. Качественное регулирование. Качественно-количественное регулирование.

РАЗДЕЛ V. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Тема 5.1. Уравнение нестационарного теплообмена объектов систем теплоснабжения

Подходы при составлении уравнений, описывающих процесс динамики теплообмена. Уравнение динамики теплообмена отдельных элементов систем теплоснабжения. Наружные ограждения. Объем воздуха в помещении. Трубопроводы. Отопительные приборы. Теплообменники различного типа. Методика получения передаточных функций.

Тема 5.2. Динамические характеристики здания

Одномерные уравнения Фурье для с граничными условиями третьего рода для описания динамической характеристики здания. Кривые разгона для помещения и его элементов. Влияние способа вентиляции на динамические характеристики помещения.

Тема 5.3. Динамические характеристики систем отопления

Входные параметры системы отопления. Передаточные функции систем отопления по различным каналам воздействия. Динамические параметры участков системы отопления. Передаточные функции систем отопления.

Тема 5.4. Динамические характеристики теплообменных аппаратов и котельных установок

Группы теплообменных аппаратов с точки зрения динамических характеристик. Упрощения и допущения при исследовании динамических свойств теплообменных аппаратов. Передаточные функции теплообменных аппаратов и котельных установок. Входные и выходные параметры.

Тема 5.5. Динамические характеристики систем кондиционирования воздуха и вентиляции

Динамика оросительных камер установок кондиционирования. Динамические характеристики воздухонагревателей.

Тема 5.6. Статические характеристики насосов, вентиляторов, регулирующих органов

Регулирование частотой вращения насоса. Дроссельное регулирование. Регулирование направляющим аппаратом на входе в рабочее колесо (богословский). Статические размерные характеристики вентиляторов. Динамические свойства насосов и вентиляторов. Конструктивная характеристика регулирующего органа. Характеристики профилируемых и непрофилируемых дроссельных органов. Статические характеристики регулирующих органов.

РАЗДЕЛ VI. РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДА ТЕПЛОТЫ

Тема 6.1. Способы организации регулирования расхода теплоты

Индивидуальное автоматическое регулирование расхода теплоты. Промежуточные ступени автоматического регулирования расхода теплоты. Местное регулирование расхода теплоты. Графики при местном регулировании расхода теплоты. Режимы центрального регулирования расхода теплоты в автоматизированных системах теплоснабжения.

РАЗДЕЛ VII. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Тема 7.1. Автоматизация теплоподготовительных установок ТЭЦ и котельных

Автоматизация подпиточных устройств. Автоматизация теплофикационных деаэраторов. Автоматизация сетевых подогревателей. Автоматизация включения резервных насосов. Защита от повышения давления сетевой воды.

Тема 7.2. Автоматизация насосных подстанций

Назначение автоматизации насосных подстанций. Схема автоматизации насосных подстанций.

Тема 7.3. Автоматизация узлов горячего водоснабжения

Задача автоматического регулирования систем горячего водоснабжения. Автоматическое регулирование при закрытой системе теплоснабжения. Автоматическое регулирование при открытой системе теплоснабжения. Схемы автоматического регулирования температуры воды горячего водоснабжения.

Тема 7.4. Автоматизация водяных систем отопления

Задача автоматизации систем отопления. Автоматизация при закрытых тепловых сетях. Гидравлическая разрегулировка. Автоматизация при двухступенчатой последовательной схеме присоединения абонентов. Способы автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление.

Тема 7.5. Схемы автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление

Групповое регулирование. Местное регулирование. Индивидуальное регулирование.

РАЗДЕЛ VIII. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Тема 8.1. Автоматизация приточных камер

Автоматизация изменением расхода теплоносителя. Автоматизация изменением расхода воздуха. Совокупный способ изменения теплопроизводительности приточной камеры. Функциональная схема управления приточной камерой. Регулирование производительности групп приточных камер.

Тема 8.2. Автоматизация систем кондиционирования воздуха

Регулирование температуры по точке росы. Регулирование по оптимальному режиму. Метод количественного регулирования систем

кондиционирования воздуха. Функциональная схема системы кондиционирования воздуха.

Тема 8.3. Защита воздухонагревателей от замерзания

Защита от замерзания теплоносителя при остановленной вентиляционной системе. Защита от замерзания теплоносителя при пуске вентиляционной системы. Защита от замерзания теплоносителя во время работы вентиляционной системы.

РАЗДЕЛ IX. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Тема 9.1. Состав и содержание проекта

Графическая часть проекта. Текстовая часть проекта. Дополнительные элементы проекта автоматизации систем теплоснабжения. Исходные данные для проектирования.

Тема 9.2 Функциональная схема автоматического контроля систем теплоснабжения

Назначение функциональной схемы. Содержание функциональной схемы. Функциональная схема на примере автоматизации вентиляционной установки.

ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Целью курсовой работы по учебной дисциплине «Автоматизация систем теплоснабжения» является приобретение обучающимися представления о структуре тепловых сетей, методике выбора способов регулирования основных параметров систем теплоснабжения и выборе регулирующих органов систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Данная курсовая работа представляет собой расчет тепловой сети района с выбором средств автоматизации отдельных элементов и техническим обоснованием способов регулирования.

В качестве спецвопроса студентам рекомендуется рассмотреть конструкцию, принцип действия и технические характеристики различных регуляторов, применяемых для автоматизации систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения; особенности способов регулирования основных параметров различных систем теплоснабжения.

Графическая часть работы состоит из трех листов формата А2, которые включают в себя годовой график отопительной нагрузки системы теплоснабжения, чертеж выбранного регулирующего органа и функциональную схему автоматизированной системы.

Примерный объем курсовой работы 25-30 печатных страниц формата А4.
На выполнение курсовой работы учебным планом отводится 40 часов.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	9 семестр							
1.	Основные задачи и цели управления режимами работы теплоснабжения и отопления	4			8			
1.1	Характеристика системы централизованной системы ТС как объекта управления	2			4			
1.2.	Задачи, решаемые АСУ ТП теплоснабжения: задачи автоматизации	2			4			
II.	Регулируемые параметры в системах теплоснабжения и отопления	8			10			Контрольный опрос
2.1	Регулируемые параметры в отапливаемом помещении	2			4			
2.2	Микроклимат в жилом помещении	2			6			
2.3	Параметры регулирования горячего водоснабжения	2						
2.4	Регулируемые параметры для систем теплоснабжения	2						
III.	Возмущающие воздействия в системах теплоснабжения и отопления	2						
3.1	Внешние и внутренние возмущающие воздействия	1						
3.2	Влияние горячего водоснабжения на режим работы систем теплоснабжения	1						
IV.	Управляющие воздействия в системах теплоснабжения и отопления	2						

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4.1	Классификация управляющих воздействий	2						
V.	Динамические характеристики систем теплоснабжения	11	8		8			Контрольный опрос
5.1	Уравнение нестационарного теплообмена объектов систем теплоснабжения	2	4					
5.2	Динамические характеристики здания	2						
5.3	Динамические характеристики систем отопления	2	2		6			
5.4	Динамические характеристики теплообменных аппаратов и котельных установок	2	2					
5.5	Динамические характеристики систем кондиционирования воздуха и вентиляции	2						
5.6	Статические характеристики насосов, вентиляторов, регулирующих органов	1			2			
VI.	Регулирование расхода теплоты	2			2			
6.1	Способы организации регулирования расхода теплоты	2			2			
VII.	Автоматизация систем теплоснабжения	10	8		8			Контрольный опрос
7.1	Автоматизация теплоподготовительных установок ТЭЦ и котельных	2						
7.2	Автоматизация насосных подстанций	2			2			
7.3	Автоматизация узлов горячего водоснабжения	2	4		2			
7.4	Автоматизация водяных систем отопления	2	2		2			
7.5	Схемы автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление	2	2		2			
VIII.	Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха	6						Контрольный опрос
8.1	Автоматизация приточных камер	2						
8.2	Автоматизация систем кондиционирования воздуха	2						
8.3	Защита воздухонагревателей от замерзания	2						
IX	Проектирование автоматизации систем теплоснабжения	3						
9.1	Состав и содержание проекта	1						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
9.2	Функциональная схема автоматического контроля систем теплоснабжения	2							
	Курсовая работа							Защита курсовой работы	
	Итого за семестр	48	16		16			Экзамен	
	Всего аудиторных часов	80							

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Жила, В.А., Автоматика и телемеханика систем газоснабжения: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 238 с.
2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Справочное пособие / Г.И. Стомахина [и др.]; под ред. Стомахинной Г.И. – М.: Пантори, 2003. – 308 с.
3. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления / С.А. Чистович, В.К. Аверьянов, Ю.Я. Темпель, С.И. Быков. – Л.: Стройиздат, Ленинград.отд-ние, 1987. – 248 с.
4. Пырков, В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / В.В. Пырков. – К.: Такі справи, 2007. – 252 с.: ил.
5. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: Учеб. для вузов / А.А. Калмаков [и др.]; под ред. В.Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1986 г. – 479 с.
6. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: Учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – 4-е изд., стер. – Москва: МЭИ, 2007. – 351 с.

Дополнительная литература

7. Варфоломеев Ю.М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети: Учебник. – М.: Инфра-М, 2006. – 480 с.
8. Дегтяренко А.В. Теплоснабжение Учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та (ТГАСУ), 2010. – 185 с.
9. Тепловые электрические станции: Справочное пособие / Под общ. ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 648 с.
10. Мухин О.А. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: Учеб. пособие для вузов. – Мн.: Выш. шк., 1986 – 304 с.
11. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети/Е.Я. Соколов. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
12. Фаликов В.С., Витальев В.П. Автоматизация тепловых пунктов: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 256 с.

Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале.

Для оценки достижений студента используется следующий диагностический инструментарий:

- защита выполненных на лабораторных занятиях индивидуальных заданий;
- защита курсовой работы;
- проведение текущих контрольных опросов по отдельным темам;
- сдача зачета по дисциплине;

– сдача экзамена по дисциплине.

Перечень тем практических занятий

1. Исследование статистических и динамических свойств чувствительного элемента (термоэлектрического преобразователя) как инерционного звена в АСР.
2. Динамические характеристики идеального и реального ПИД-регуляторов.
3. Изучение экспериментальных методов определения динамических характеристик объектов регулирования с помощью переходных характеристик.
4. Изучение экспресс-методов идентификации объектов регулирования в виде последовательного соединения инерционных звеньев n -го порядка.
5. Исследование статических и динамических свойств дифманометра как безынерционного звена в АСР.
6. Определение оптимальных параметров настройки регулятора АСР реального теплоэнергетического объекта.

Перечень тем лабораторных работ

8. Изучение работы стенда для исследования динамики систем отопления и горячего водоснабжения в процессе регулирования с последующей передачей основных технологических параметров на ПК.
9. Изучение принципа действия регулятора температуры РТМ-03А.
10. Изучение способов подключения и взаимодействия регулятора температуры РТМ-03А с ПЭВМ.
11. Изучение принципа действия теплосчетчиков.
12. Изучение основ программирования функций регуляторов температуры РТМ-03А.
13. Изучение основ программирования настроечных параметров для работы систем регулирования отопления по ГТ.
14. Изучение основ программирования настроечных коэффициентов и функций насоса систем отопления и ГВС.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов

1. Режимы работы центральных систем водяного отопления.
2. Режим работы систем кондиционирования воздуха.
3. Режим работы систем приточной вентиляции.
4. Статические и астатические системы автоматического регулирования.
5. Тепловой и гидравлический режимы автоматизированных систем отопления.
6. Основные принципы построения автоматизированных систем управления теплоснабжением.
7. Годовой режим работы систем кондиционирования воздуха
8. Выбор контуров регулирования.

9. Автоматизация устройств утилизации выбросной теплоты.
10. Основные требования к техническим средствам автоматизации систем теплоснабжения.
11. Обратные затворы, клапаны.
12. Регулирование температуры на горячее водоснабжение.
13. Регулирование теплопроизводительности воздухоподогревателей.
14. Терморегуляторы отопительных приборов.
15. Управляющие устройства для поддержания перепада давлений и уровня воды.
16. Регулирование температуры на подающем трубопроводе в зависимости от температуры в помещении.
17. Теплосчетчики.
18. Приборы для измерения расхода воды.
19. Регуляторы давления на обратном трубопроводе систем отопления.
20. Регулирование холодопроизводительности воздухоохладителей.
21. Пофасадные регуляторы расхода теплоты в системах отопления.
22. Автоматические воздухоотводчики.
23. Приборы для измерения влажности в помещении.
24. Защита воздухоподогревателей от замерзания.
25. Регулирование разности температур воды в подающем и обратном трубопроводе систем отопления в зависимости от температуры наружного воздуха.
26. Регуляторы давления на обратном трубопроводе систем горячего водоснабжения.
27. Регуляторы температуры воды на циркуляционной магистрали.
28. Элеваторы в системах автоматического регулирования температуры сетевой воды.
29. Приборы для регулирования температуры и разности температур воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.
30. Частотно-регулируемые электроприводы.
31. Автоматические перепускные клапаны.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы:

- контролируемая самостоятельная работа в виде решения индивидуальных задач в аудиториях во время проведения практических занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- подготовка презентаций по индивидуальным темам;
- подготовка курсовой работы по индивидуальным заданиям.