

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

Сборник учебно-методических материалов

Для направления подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

Благовещенск, 2017

*Печатается по решению
Редакционно-издательского совета
Энергетического факультета
Амурского государственного
университета*

Составитель: Хондошко Ю.В. Отопление, вентиляция, кондиционирование: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 13.03.01. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017

©Амурский государственный университет, 2017
© Кафедра энергетики, 2017
© Хондошко Ю.В., составители

Содержание

1. Краткий курс лекций	4
2. Методические рекомендации к практическим занятиям	29
3. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов	34
4. Библиографический список	36

1. КРАТКИЙ КУРС ЛЕКЦИЙ

Процесс изучения дисциплины базируется на таких основных теплоэнергетических понятиях как системы централизованного и децентрализованного теплоснабжения, теплофикация и теплофикационные системы, а так же в данном курсе рассматриваются вопросы вентиляции и кондиционирования зданий и сооружений различного назначения.

Теплофикация и теплофикационные системы. Когда говорят о системах централизованного теплоснабжения, то имеют в виду, что от какого-то централизованного (или центрального) теплоисточника обеспечиваются несколько промышленных либо жилищно-коммунальных потребителей тепловой энергии. При этом источник теплоты может быть любого вида, т.е. указывают только на факт централизации теплоснабжения.

Когда речь идет о теплофикации или о теплофикационной системе, имеют в виду систему теплоснабжения от комбинированного теплоисточника, на которой осуществляется производство электрической и тепловой энергии в едином теплофикационном цикле. В таком цикле на потоке пара или газа вырабатывается сначала электрическая энергия в паровой или газовой турбогенераторной установке, а затем эти потоки пара или газа используются для производства тепловой энергии в виде пара или горячей воды.

Потребители тепловой энергии. Структура потребителей тепловой энергии

В различных задачах по выбору вида и тепловой мощности централизованных энергоисточников могут учитываться следующие разновидности потребителей ТЭ в зависимости от методики определения их расчетных тепловых нагрузок:

1) Отдельные жилые, общественные или промышленные здания; такие потребители рассматриваются в СЦТ от теплоисточников малой мощности.

2) Отдельные жилые микрорайоны (ЖМ) состоящие из жилых зданий, а также из общественных зданий, входящих в состав ЖМ и предназначенных для обслуживания населения данного ЖМ (детские учреждения, школы, поликлиники, предприятия торговли и бытового обслуживания) и прилегающих к нему районов индивидуальной жилой застройки, не присоединенной к СЦТ (с перспективой подсоединения к СЦТ).

3) Общественные здания городского значения или общественные центры (ОЦ), которые располагаются, как правило, за пределами ЖМ; в качестве ОЦ могут быть административные здания, учебные заведения, спортивные, торговые и лечебные комплексы и т.п. ОЦ могут состоять из одного или нескольких отдельных общественных зданий.

4) Промышленные предприятия (ПП), которые могут состоять из одного или нескольких отдельных промышленных и общественных зданий; в качестве общественных зданий на площадках ПП могут быть административные здания, предприятия общественного питания, отдыха и т.п.

5) Тепловые районы (ТР), которые могут состоять из нескольких ЖМ, ОЦ и ПП; если ТР состоит в основном из ЖМ и ОЦ, его называют жилым тепловым районом, а если ТР состоит в основном из ПП, его называют промышленным тепловым районом или промышленным узлом.

6) Отдельные города, которые могут состоять из нескольких жилых или промышленных ТР.

Отдельные города в качестве потребителей ТЭ могут рассматриваться в СЦТ городских агломераций, состоящих из нескольких близко расположенных отдельных городов.

Потребителями ТЭ являются также местные системы теплоснабжения (МСТП) отдельных жилых, общественных и промышленных зданий. Применяются следующие разновидности МСТП:

- системы центрального отопления;

- системы вентиляции и кондиционирования воздуха;
- системы бытового горячего водоснабжения;
- системы технологического потребления ТЭ в виде пара;
- системы технологического потребления ТЭ в виде горячей воды.

Система центрального отопления

Общая характеристика системы отопления. Отопление можно рассматривать как процесс подачи ТЭ в отапливаемые помещения $Q_{от}$ для обеспечения заданной температуры воздуха внутри помещений $t_{вн}^p$, постоянной при всех температурах наружного воздуха t_n .

Теплоэнергетическую сущность процесса отопления наглядно показывает уравнение теплового баланса:

$$Q_{от} + Q_{вн.т} + Q_{инс} = Q_{пот.огр} + Q_{пот.инф}$$

Левая часть этого уравнения показывает приток теплоты: $Q_{от}$ – от системы отопления; $Q_{вн.т}$ – от внутренних тепловыделений в отапливаемых зданиях; $Q_{инс}$ – от солнечной радиации (инсоляции).

Правая часть уравнения показывает потери теплоты: $Q_{пот.огр}$ – через наружные ограждения; $Q_{пот.инф}$ – с инфильтрацией наружного воздуха через неплотности в наружных ограждениях, которая происходит по двум причинам:

- 1) из-за разности плотностей или удельных весов внутреннего и наружного воздуха (гравитационный напор);
- 2) ветрового напора.

Из уравнения теплового баланса отопительной системы видно, что кроме наружной температуры на величину $Q_{от}$ может повлиять и приток ТЭ за счет солнечной радиации и внутренних тепловыделений, а также увеличение теплопотерь зданий при возрастании скорости ветра, в некоторых случаях при удешевлении конструкции зданий. Однако t_n оказывает наиболее сильное влияние на необходимую величину $Q_{от}$.

Для жилых зданий величина $Q_{вн.т}$ не учитывается из-за ее сравнительно небольшого значения и вероятностного характера. Для общественных и промышленных зданий величина $Q_{вн.т}$ учитывается в тех случаях, когда ее значение сравнительно велико и график поступления ТЭ от внутренних тепловыделений стабильный (среди общественных зданий это, например, театры и кинотеатры, для промышленных зданий – работа оборудования).

Величины $Q_{инс}$ и $Q_{пот.инф}$ при определении максимальной расчетной нагрузки систем отопления $Q_{от}^p$, как правило, не учитываются. Учет этих величин производится при внедрении индивидуальной автоматики в отапливаемых зданиях и может повлиять на годовые значения $Q_{от}$.

Важнейшим климатологическим параметром систем центрального отопления является расчетная наружная температура для проектирования отопления $t_{н.от}$, по которой определяется максимальная расчетная нагрузка систем отопления $Q_{от}^p$ и, следовательно, тепловая мощность централизованного теплоисточника.

Согласно действующему в настоящее время климатологическому нормативу значение $t_{н.от}$ определяется как средняя наружная температура наиболее холодной пятидневки из 8 наиболее холодных зим за 50-летний период.

Годовой график отопительной нагрузки, как правило, переменный, а весь год делится на два периода:

- 1) отопительный, при котором $t_n \leq t'_n$;
- 2) неотопительный, при котором $t_n > t'_n$

Величина t'_n показывает наружную температуру в конце (начале) отопительного периода. Согласно действующему нормативу значение t'_n принимается:

- в районах с $t_{н.от} > -30^\circ\text{C}$ – $t'_n = +8^\circ\text{C}$;
- в районах с $t_{н.от} \leq -30^\circ\text{C}$ – $t'_n = +10^\circ\text{C}$.

Как видно из годового графика отопительной нагрузки величина $Q_{от}$ имеет максимальное значение, равное $Q_{от}^P$, при $t_{н,от}$, а минимальное $Q_{от}^{мин}$ – при $t'_н$.

При температуре наружного воздуха $t_n > t'_н$ подвода теплоты нет. Необходимая температура $t_{вн}^P$ внутри отапливаемого здания поддерживается за счет тепловыделений в помещении, солнечной радиации и аккумулирующей способности самого здания.

Продолжительность отопительного периода $T_{от}$ на территории России изменяется в широком диапазоне. Например, $T_{от}$ для Сочи равно 90 суток в год, а для ряда населенных пунктов на побережье Северного Ледовитого океана (Певек, бухта Тикси) $T_{от} = 365$ суток в год, в таких районах системы отопления должны работать круглый год.

Величина $t_{вн}^P$ для отдельных жилых, общественных и промышленных зданий зависит от назначения здания и находится в ориентировочном диапазоне 14–22 °С.

При определении суммарных расходов теплоты на отопление жилых микрорайонов или жилых тепловых районов, которое необходимо для определения тепловой мощности централизованных теплоисточников для таких потребителей ТЭ, а также при разработке графиков температур сетевой воды при центральном регулировании отпуска теплоты от этих теплоисточников, принимается усредненное значение $t_{вн}^P$, которое, согласно рекомендациям, равно:

в районах с $t_{н,от} > -30$ °С $t_{вн}^P = +18$ °С;

в районах с $t_{н,от} \leq -30$ °С $t_{вн}^P = +20$ °С.

Для решения аналогичных задач при отпуске ТЭ промышленным предприятиям усредненное значение $t_{вн}^P$ для промышленных зданий, по рекомендациям, принимается равным +16 °С.

Суточный график подачи теплоты от системы отопления $Q_{от}$, как правило, равномерный, т.к. в течение суток величина $Q_{от}$ сравнительно постоянна и зависит от среднесуточного значения температуры наружного воздуха t_n . На крупных источниках теплоты регулирование температуры воды подающей магистрали по температурному отопительному графику производится два и более раз в сутки. В некоторых СЦТ изменяют величину $Q_{от}$ в зависимости от ночного и дневного значения t_n , снижая величину $Q_{от}$ в дневное время за счет ее увеличения в ночное время. Такой ступенчатый суточный график подачи $Q_{от}$ эффективен в районах резко континентального климата при значительной разнице ночных и дневных наружных температур.

В зависимости от теплоносителя системы отопления бывают следующих видов:

- 1) системы водяного отопления;
- 2) системы воздушного отопления;
- 3) системы парового отопления;
- 4) панельно-лучистое отопление.

Воздушное отопление, как правило, совмещают с вентиляцией и применяют иногда в общественных и промышленных зданиях. Принцип работы воздушного отопления заключается в циркуляции горячего воздуха, поступающего из калорифера, и передачи аккумулированного им тепла непосредственно отапливаемому помещению, путем смешивания с внутренним воздухом при движении по помещению.

Паровое отопление в настоящее время практически не применяется. Только в некоторых промышленных зданиях сохранились паровые системы отопления. В этом случае отопление осуществляется за счет пара, поступающего по паропроводам от котлов в отопительные приборы, установленные в отапливаемых помещениях, где он конденсируется, выделяя скрытое тепло испарения.

Панельно-лучистое отопление, при котором средняя температура всех поверхностей, обращенных в помещение, превышает температуру воздуха. Отапливаемое помещение при таком способе обогревается главным образом за счет лучистого теплообмена между греющей панелью и предметами, ограждениями в помещении.

В настоящее время для отопления жилых, общественных и промышленных зданий применяются, в основном, водяные системы, которые и будут рассматриваться в курсе лекций.

Максимально-допустимая (расчетная) температура воды в подающих трубопроводах для большинства разновидностей местных отопительных систем $t_{от.под}^{max}$ жилых и общественных зданий равна 95 °С.

Для некоторых разновидностей одноконтурных местных систем отопления $t_{от.под}^{max} = 105$ °С.

Максимальное давление сетевой воды в местных отопительных системах не должно превышать допустимое давление для отопительных приборов. Например, по данным допустимое избыточное давление $P_{от.}^{max}$ равно:

0,6 МПа (6 кгс/см²) – для отопительных систем с чугунными радиаторами или ребристыми трубами, а также со стальными панелями;

1,0 МПа (10 кгс/см²) – для отопительных систем со стальными конвекторами или гладкими трубами.

Система вентиляции

Вентиляция – это воздухообмен в вентилируемых помещениях зданий с расчетной кратностью, т.е. с расчетным отношением объема наружного подогретого воздуха, подаваемого в единицу времени в вентилируемые помещения, к внутреннему объему этих помещений.

Более простое определение термина вентиляция - процесс удаления отработанного воздуха из помещения и замена его наружным. Вентиляция обеспечивает санитарно-гигиенические условия (температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и чистоту воздуха) воздушной среды в помещении, благоприятные для здоровья и самочувствия человека, отвечающие требованиям санитарных норм, технологических процессов, строительных конструкций зданий, технологий хранения и т. д.

Наиболее распространенная система приточной вентиляции состоит из приточного вентилятора с электродвигателем, подающего наружный воздух в калорифер, в котором воздух подогревается, как правило, водой из тепловой сети, и по системе приточных воздухопроводов подается в вентилируемые помещения. Затем по системе вытяжных воздухопроводов отработанный воздух удаляется из помещений под напором приточного вентилятора наружу. Системы, так называемой принудительной или механической вентиляции, в которой воздух движется под напором вентилятора с электродвигателем, применяются, как правило, в общественных и промышленных зданиях.

В жилых зданиях применяются системы естественной вентиляции, в которых наружный воздух поступает в жилые помещения через неплотности в наружных ограждениях (двери, форточки), а удаляется через вытяжные воздухопроводы под действием гравитационного напора за счет разности удельных весов теплого воздуха внутри жилых зданий и холодного наружного воздуха. Установка в помещениях плотно герметичных окон с двойным остеклением, не имеющих специальных вентиляционных камер (форточек и др.) затрудняет проветривание и увеличивает влажность воздуха.

Нормативы по проектированию жилых зданий требуют, чтобы в районах с $t_{н.от.} < -40$ °С жилые здания с числом этажей 3 и более должны иметь системы принудительной вентиляции с подогревом наружного воздуха в калориферах. Предлагаем читателю самостоятельно объяснить причину такого требования.

Для некоторых общественных (музеи, книгохранилища) и промышленных зданий применяется система вентиляции и кондиционирования воздуха, в которой воздух подается в помещения с расчетной температурой и влажностью. Для этого после

калорифера воздух поступает в оросительную камеру, в которую подается вода с расчетной температурой для впрыскивания в воздух.

Суточный режим систем вентиляции зависит от режима вентилируемых зданий. Например, в больницах вентиляция должна работать круглосуточно, а в театрах только в часы их работы. Годовой режим вентиляционной тепловой нагрузки, как правило, аналогичен годовому режиму отопления, так как значения этих нагрузок зависят, прежде всего, от температуры наружного воздуха и расчетной температуры внутри помещения.

При объединении систем отопления (воздушного отопления) и вентиляции в системах кондиционирования воздуха достигается наибольший комфорт в помещениях, как правило, при такой системе сохраняется не только тепловой режим для заданной температуры наружного воздуха, но и относительная влажность воздуха.

Системы горячего водоснабжения

Горячее водоснабжение выполняет задачу по обеспечению жилых, общественных и промышленных зданий горячей водой на бытовые и технологические нужды.

Рассмотрим системы бытового горячего водоснабжения. Температура горячей воды $t_{гв}$ подаваемая в помещения для нужд горячего водоснабжения мало зависит от температуры наружного воздуха и находится в пределах 50-75°C. Чаще принимается температура на горячее водоснабжение $t_{гвс}^p = 60^\circ C$.

Максимально допустимая температура горячей воды перед водоразборными приборами не может быть выше 75°C по условию техники безопасности и ниже 50°C.

Слабая зависимость расхода тепла от климатических условий и круглогодовой характер работы позволяет обеспечивать более устойчивую загрузку оборудования источников тепла и тепловых сетей по сравнению с отопительно-вентиляционными нагрузками.

Пики расхода тепла с максимальной тепловой нагрузкой $Q_{гвс}^{\max}$ приходится на вечернее время, спад – на ночное время. Так, в жилых зданиях расходы горячей воды ночью близки к нулю, резко возрастают в утренние часы, затем спадают в дневные часы и достигают максимума вечером.

Следует отметить, что помимо внутрисуточных колебаний у жилых и общественных зданий наблюдаются изменения расхода горячей воды по дням недели с максимумом в предвыходные дни. Годовой режим сравнительно равномерный с некоторым снижением нагрузки летом.

Существуют две принципиально различных схемы присоединения систем горячего водоснабжения к тепловым сетям: закрытые, системы в которых сетевая вода, циркулирующая в тепловой сети, используется только как теплоноситель, но из сети не отбирается, и открытые, системы в которых сетевая вода (редко полностью) разбирается у абонентов для горячего водоснабжения.

Характерной особенностью закрытых систем теплоснабжения является применение четырехтрубных тепловых сетей. В противоположность закрытым системам в полностью открытых системах теплоснабжения сетевая вода, поступающая из сетей в местные системы теплоснабжения (МСТ), не возвращается обратно к источнику теплоты. Тепловые сети для таких систем могут быть выполнены одноконтурными с подачей сетевой воды только в одном направлении от источника к потребителю. При одноконтурном транспорте тепла от крупных источников тепла, возможно, снижение стоимости транзитных тепловых сетей до 50%.

В закрытых системах теплоснабжения подача тепла на системы горячего водоснабжения и отопления обычно осуществляется по параллельной или смешанной схемам. При параллельной схеме происходит одноступенчатый нагрев водопроводной воды в водоводяном подогревателе (ВВП) горячего водоснабжения, который включен

параллельно с системой отопления. Утилизация тепла обратной воды после теплообменника отсутствует, что является недостатком такой схемы.

Организация циркуляции горячей воды в местных системах горячего водоснабжения в открытых системах может осуществляться согласно двумя способами:

1) путем установки дросселя – шайбы (ДШ) на обратном трубопроводе, для создания перепада давления ΔP необходимого для циркуляции воды в системе горячего водоснабжения;

2) подключение циркуляционной линии на ввод в элеватор.

Сравнительная характеристика открытых и закрытых систем горячего водоснабжения.

Рассмотрим преимущества и недостатки каждой системы.

Преимущества закрытых систем:

1. Высокое качество воды в системе горячего водоснабжения, так как она, поступая непосредственно из городского водопровода, нагревается в ВВП и таким образом нигде не загрязняется.

2. Простота контроля над плотностью системы. Дежурный персонал на источнике тепла по показаниям приборов (расходомерам) может обнаружить факт аварийной утечки (но потом нужно определить место утечки).

Недостатки закрытых систем:

1. Большие затраты на сооружение ВВП и ГТП, появляется 4-х трубная система тепловых сетей.

2. Недолговечность работы местных систем горячего водоснабжения теплоснабжения, так как система работает на недеаэрированной водопроводной воде, а при нагреве воды из нее выделяются растворимые газы, что приводит к возникновению кислородной коррозии. Были попытки внедрения различных способов удаления кислорода из воды. Деаэрирование воды на ГТП с установкой вакуумных, вихревых деаэраторов, фильтров, но это приводит к удорожанию системы. Пока дешевого и эффективного способа не найдено. Проблему можно решить, если перейти на трубопроводную систему из нержавеющей стали или цветных металлов, а так же использовать пластмассовые (полихлорвиниловые) трубы.

Преимущества открытых систем:

1. Простота и низкая стоимость МТП.

2. Отпадает необходимость в сооружении ВВП и ГТП с 4-х трубной системой.

3. Надежная и долговечная работа МТП систем горячего водоснабжения, так как система работает на деаэрированной воде.

Недостатки открытых систем:

1. Сравнительно низкое качество воды в системе горячего водоснабжения. Особенно это проявляется при ремонте тепловых сетей, при пуске отопления при этом из отопительной системы вымывается грязь.

2. Сложность контроля над плотностью системы теплоснабжения.

Системы технологического потребления теплоты на промышленных предприятиях

Тепловая энергия в виде пара и горячей воды используется в разнообразных технологических процессах всех отраслей промышленности для двух целей: нагрева и получения механической работы.

Для нагрева применяется как горячая вода, так и водяной пар. Чаще используется водяной пар, так как при помощи пара можно больше передать теплоты. Пар перед самим технологическим аппаратом нужен, как правило, сухой насыщенный. Основное количество теплоты, которое отдает пар, – это скрытая теплота парообразования. Некоторое количество теплоты можно получить и за счет охлаждения конденсата до

температуры насыщения. Перегрев пара необходим только для компенсации тепловых потерь внешними паропроводами, чтобы не допустить конденсации пара в них.

Различные технологические аппараты (промышленные потребители) требуют пар различных параметров. Так для привода паровых прессов и молотов требуется пар давлением 0,8–0,9 МПа. В химических и нефтехимических отраслях производства нужен пар давлением 3–4 МПа, в отдельных случаях даже 8–9 МПа.

Суточные и годовые режимы могут быть переменные или равномерные в зависимости от характера технологических процессов. Поэтому, в основу определения изменения графиков расхода тепла, должны быть положены либо данные из соответствующих проектов предприятий, либо результаты тепловых испытаний действующих систем технологического теплоснабжения этих предприятий.

Годовые графики расхода теплоты на технологическое потребление относительно равномерны, годовые графики потребления теплоты на отопление, вентиляцию и кондиционирования более резко переменные, что связано с их сезонностью потребления.

Еще более резко выражены графики потребления на технологические нужды в течение суток, что связано, прежде всего, с характером и требованиями технологического процесса производства, при этом используются различные способы выравнивания суточных графиков (баки-аккумуляторы, льготные тарифы в ночные часы и повышающие тарифы в часы максимальной нагрузки).

Суточные же графики потребления теплоты на отопление, вентиляцию и кондиционирование отличаются равномерностью.

В промышленных районах, где требуется технологическая тепловая нагрузка в горячей воде повышенного потенциала, могут применяться трехтрубные системы, два трубопровода используются как подающие: к одному присоединяются отопительные и вентиляционные установки, к другому – технологические установки и установки горячего водоснабжения; третий трубопровод является обратным. При такой схеме упрощаются методы регулирования на источнике теплоты.

Определение расчетных расходов теплоты для жилых и общественных зданий и сооружений

При отоплении жилых и общественных зданий и сооружений тепло расходуется на возмещение теплопотерь через строительные ограждения, а также теплопотерь, вызываемых инфильтрацией (проникновением) наружного воздуха через неплотности в конструкциях и периодически открываемые двери.

Основным показателем климатических характеристик района является расчетная наружная температура для проектирования отопления, которая принимается, как средняя температура наиболее холодной пятидневки из 8 наиболее холодных зим за 50-летний период.

Определение расчетного расхода теплоты широко применяется в проектных организациях на стадии перспективного проектирования, рекомендованное действовавшими до 2003 г. нормами проектирования тепловых сетей, но в этой формуле не учитывается влияние конструкции зданий и материала стеновых ограждений на величину тепловых потерь зданий.

Для выравнивания потребления горячей воды при ограниченной мощности источника теплоты и неравномерном потреблении, а также для ограничения и выравнивания давлений в трубопроводах горячего и холодного водоснабжения с целью повышения устойчивости их работы устанавливаются баки-аккумуляторы (БА) горячей воды.

Определение расчетных расходов теплоты для промышленных предприятий

Тепловая нагрузка промышленного предприятия состоит в общем случае из расходов теплоты на отопление и вентиляцию (сезонная тепловая нагрузка), на горячее

водоснабжение и производственно-технологические нужды, включая кондиционирование воздуха (круглогодичная тепловая нагрузка). С учетом такого теплопотребления при определении тепловых нагрузок промышленных предприятий надо учитывать, что на данной территории могут находиться два типа зданий, для которых тепловые нагрузки следует учитывать отдельно.

Первый тип – это административные и бытовые здания, здания общественного питания, здания для культуры, отдыха, спорта.

Тепловые нагрузки этих зданий следует рассчитывать по вышеизложенной методике для общественных центров.

Второй тип зданий – это производственные здания.

Расчетные и годовые расходы теплоты на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и технологические нужды таких типов зданий необходимо получать от самих промышленных предприятий или от их проектных организаций.

Кроме этого необходимо иметь данные по суточным графикам расхода тепла отдельно для каждого теплоносителя в зимний и летний периоды, данные по количеству дней работы предприятий в году, данные о возврате конденсата пара и о допустимости перерывов в подаче теплоты.

Полученные данные необходимо проверять следующими способами:

- 1) сравнить с тепловыми нагрузками аналогичных предприятий;
- 2) провести анализ удельных норм теплопотребления на единицу выпускаемой продукции.

Графический способ определения годового расхода теплоты (график Россандера)

Годовой расход теплоты при переменных часовых расходах теплоты в течение года можно определить не только по формулам, приведенным выше, но и графоаналитическим методом, путем построения суммарных расчетных нагрузок часовых расходов тепла в течение года. Он показывает неравномерность тепловых нагрузок в течение, как отопительного периода, так и всего года и используется в расчетах по выбору основного оборудования ТЭЦ, предназначенного для отпуска теплоты от ТЭЦ в горячей воде, т.е. на обеспечение нагрузок отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Для построения графика годового расхода теплоты в правой части рис. 3.1 необходимы данные о продолжительности стояния наружных температур для географического пункта. Проводят ось абсцисс и ось ординат. Слева от оси ординат строят графики зависимости от наружной температуры часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение для всех потребителей, затем строят суммарный часовой график.

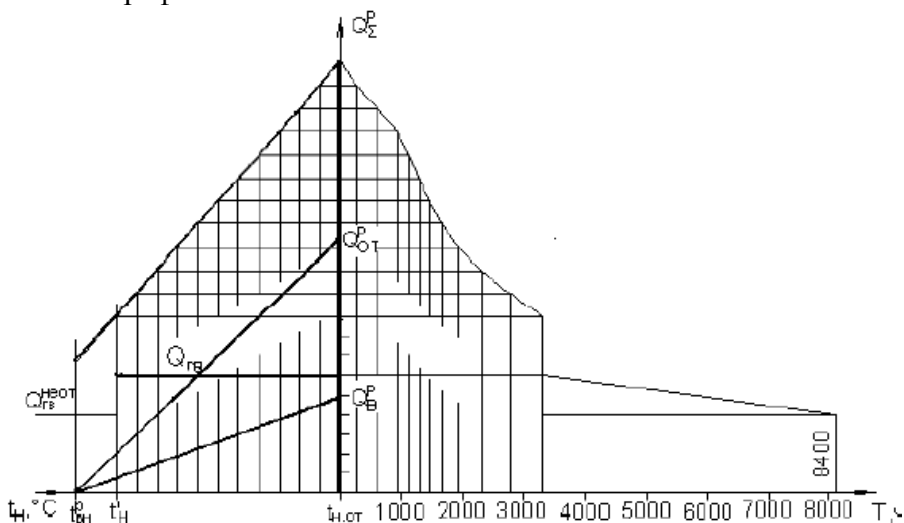


Рисунок 1 - Расчетный и годовые расходы теплоты в горячей воде

Графики часового расхода теплоты на отопление и вентиляцию являются прямолинейными и поэтому могут быть построены по двум точкам:

1) при расчётной наружной температуре, при которой нагрузки отопления и вентиляции равны расчётным значениям;

2) при наружной температуре, равной расчётной внутренней температуре в отапливаемых зданиях, при которой нагрузки отопления и вентиляции равны 0 (т.е. при $t_n = +18\text{ }^{\circ}\text{C}$). Суммарный график теплоты строится также по двум точкам, путем складывания отрезков по оси ординат тепловых нагрузок, что соответствует наружной температуре при проектировании отопления $t_{n,от.}$ и при отсутствии нагрузки на отопление и вентиляцию, в этом случае берется значение тепловой нагрузки только на горячее водоснабжение. Справа от оси ординат строится кривая, соответствующая суммарной часовой нагрузке и длительности стояния наружных температур.

Регулирование отпуска тепловой энергии. Задачи и способы регулирования отпуска теплоты

Основная задача отпуска тепловой энергии состоит в поддержании тепловой производительности источника тепла равной тепловой нагрузке потребителей, которая зависит от многих факторов с учетом потерь при транспорте.

Рассмотрим основные факторы, влияющие на регулирование отпуска тепловой энергии:

- 1) климатические условия, в частности: температура наружного воздуха, скорость ветра, солнечная или пасмурная погода;
- 2) взаимное влияние друг на друга различных местных систем теплоснабжения (влияние переменных режимов горячего водоснабжения и вентиляции на системы отопления);
- 3) отключения при текущих и плановых ремонтах, аварии в тепловых сетях.

Нужно учесть, что регулирование осуществляется не только на источнике тепла, но и непосредственно у потребителя, поэтому задачу регулирования можно сформулировать и так – поддержание некоторых параметров в местных системах на заданном уровне, когда $t_{вн}^p$ и $t_{св}$ постоянны.

На трассе тепловых сетей для поддержания заданных режимов давлений и температур теплоносителя в тепловых сетях устанавливаются тепловые пункты.

В зависимости от пункта осуществления регулирования может быть:

1. Центральное регулирование – на источнике тепла (ТЭЦ или котельная);
2. Групповое регулирование – на центральных или групповых тепловых подстанциях (пунктах) (ЦТП или ГТП) для отдельных групп потребителей (жилой район, общественный центр или группа общественных зданий);
3. Местное регулирование – на местных тепловых пунктах (МТП) отдельных зданий;
4. Индивидуальное регулирование – на отдельных теплопотребляющих приборах в отдельных зданиях.

Центральное регулирование осуществляется на теплоисточнике (ТЭЦ или котельной), как правило, по диктующей тепловой нагрузке.

В большинстве случаев диктующей нагрузкой является отопление, это основная нагрузка, ее доля составляет $\approx 70\%$ от всего подаваемого тепла и, естественно, – это наиболее важная нагрузка. На отопление требуется максимальная температура $95\text{--}150\text{ }^{\circ}\text{C}$, что выше температуры на горячее водоснабжение ($60\text{--}75\text{ }^{\circ}\text{C}$). Даже при схеме без смешения потоков сетевой воды (безэлеваторной схеме) присоединения местных систем отопления к тепловым сетям расчетная температура сетевой воды в подающем трубопроводе равна $95\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как для систем горячего водоснабжения максимальная температура воды, допустимая действующими нормативами, равна $75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Очевидно, что из потока сетевой воды с большей температурой технически несложно получить поток сетевой воды для горячего водоснабжения с более низкой температурой.

Если по тепловым сетям подают тепло в жилые районы и промышленные предприятия, то диктующая нагрузка – отопление жилых зданий, так как это наиболее массовый (многочисленный) потребитель и при эксплуатации тепловых сетей МТП жилых зданий должны быть наиболее простыми и работать без постоянного присутствия на них обслуживающего персонала. Действительно, если параметры сетевой воды при центральном регулировании будут рассчитаны для удовлетворения требований местных систем теплоснабжения жилых зданий, то на МТП этих зданий потребуется минимальный объем дополнительного оборудования и средств автоматики.

В водяных системах центрального теплоснабжения (ЦТ) принципиально возможно использовать 4 способа центрального регулирования:

1.качественное – регулирование отпуска тепла за счет изменения температуры теплоносителя

$$G_{om}^p = const, t_{nod} = f \cdot (t_n)$$

2.количественное – регулирование отпуска тепла путем изменения расхода теплоносителя при постоянной температуре его на входе в регулируемую установку

$$t_{nod} = const, G_{om} = f \cdot (t_n)$$

3.количественно-качественное – регулирование посредством одновременного изменения расхода и температуры теплоносителя

$$G_{om} = f \cdot (t_n), t_{nod} = f \cdot (t_n)$$

4. комбинированное – регулирование, при котором часть отопительного периода осуществляется качественным регулированием, а другая часть количественным регулированием.

Дальше мы увидим, что в основном применяется комбинированное регулирование.

Итак: диктующий потребитель – жилые здания, и местные тепловые пункты этих зданий должны быть наиболее простыми и работать без обслуживающего персонала; диктующая тепловая нагрузка – отопление, так как расчетная температура сетевой воды для систем отопления всегда выше, чем для горячего водоснабжения.

Регулирование процессов отпуска теплоты в системах горячего водоснабжения и отопления на тепловых пунктах потребителей теплоты

Выполняя принцип центрального регулирования на ТЭЦ или котельных, не учитывается разнородность тепловой нагрузки для потребителей (промышленных предприятий, жилых районов, отдельно стоящих зданий и т.д.). Роль, такого регулирования выполняют тепловые пункты, которые согласно нормативной документации подразделяются на:

- местные (индивидуальные) тепловые пункты (МТП) – для присоединения систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и технологических теплоиспользующих установок одного здания или его части;

- центральные тепловые пункты (ЦТП) для присоединения систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения и технологических теплоиспользующих установок группы зданий.

Для контроля за параметрами теплоносителя, работой оборудования и автоматических регуляторов, а также для учета расхода энергоресурсов тепловые пункты оснащаются контрольно-измерительными приборами: термометрами, манометрами, расходомерами.

Тепловой пункт должен быть оснащен следующими контрольно- измерительными приборами:

- а) манометрами самопишущими и показывающими на подающем и обратном трубопроводах после основных задвижек и штуцерами для манометра перед основными задвижками;

б) термометрами самопишущими и показывающими на подающем и обратном трубопроводах ввода и гильзами для термометров на всех обратных трубопроводах от местных систем теплоснабжения;

в) расходомерами самопишущими, установленными на подающем или обратном трубопроводе с подключенной тепловой нагрузкой примерно 20 ГДж/ч (5 Гкал/ч) и более, и водомерами, установленными на линии на горячее водоснабжение;

г) штуцером для манометра и гильзой для термометра на подающей трубе после узла смешения или водоподогревателя для местной системы отопления.

На подающем трубопроводе ввода грязевик устанавливается после входной задвижки, назначение его – защита местных систем теплоснабжения здания от засорения мусором, находящимся в трубопроводах наружных тепловых сетей. На обратном трубопроводе ввода грязевик устанавливается после смесительного узла системы отопления и предотвращает попадание мусора из местных систем в наружные тепловые сети. На конце выходного патрубка внутри грязевика устанавливается сетка из оцинкованной проволоки или сверлятся отверстия. Грязевики подбираются по диаметру подводящих и обратных трубопроводов. Скорость движения воды в грязевике должна быть не более 0,2 м/с, чтобы в нем успели осесть взвешенные частицы мусора, находящегося в воде. Система автоматического регулирования должна обеспечивать работу тепловых пунктов без постоянного обслуживающего персонала, а так же поддержание заданной температуры горячей воды, регулирование подачи теплоты в системы отопления в зависимости от температуры наружного воздуха, поддержание требуемого перепада давлений воды в подающем и обратном трубопроводах тепловых сетей на вводе в ЦТП и с м 05,0 МТП, включение и выключение подпиточных устройств для поддержания статического давления.

Согласно своду правил ЦТП могут устанавливаться на два или несколько зданий. Для жилых или общественных зданий в закрытых системах теплоснабжения рекомендуется установка одного ЦТП на микрорайон или группу зданий с расходом теплоты в пределах 12–35 МВт. На МТП регулирование режимов систем отопления и горячего водоснабжения местных тепловых систем часто осуществляется количественным регулированием. Таким образом, используется метод комбинированного регулирования – этот метод имеет наибольшее практическое применение. В этом случае, часть отопительного периода осуществляется качественным центральным регулированием по отопительному графику на источнике тепла, а другая часть местным количественным регулированием на местных тепловых пунктах зданий. Такой способ называют регулированием по отопительному графику.

Переменный суточный и годовой графики горячего водоснабжения оказывают значительное влияние на режимы отопительных систем, для уменьшения этого влияния применяют два способа местного регулирования отпуска теплоты в системы отопления.

Способ связанного регулирования, при котором режимы систем горячего водоснабжения и отопления связаны между собой. На рис. 4.4 изображена схема совместного регулирования систем отопления и горячего водоснабжения. На подающем трубопроводе установлен регулятор расхода РР-С перед узлом присоединения системы горячего водоснабжения, что позволяет регулировать расход сетевой воды при переменных режимах систем горячего водоснабжения и отопления. Способ несвязанного регулирования, при котором гидравлические режимы систем -отопления и горячего водоснабжения не связаны между собой. При этом способе регулятор постоянства расхода РР-С на МТП отдельных зданий устанавливается на подающем трубопроводе перед системой отопления для поддержания постоянного расчетного расхода сетевой воды на

отопление G_{om}^p . При этом способе температура сетевой воды на источнике теплоты поддерживается по отопительному графику. Недостатком этого способа является

увеличенный расход сетевой воды во внешних тепловых сетях, а преимуществом является то, что этот способ применим при любой доле нагрузки горячего водоснабжения.

Регулирование разнородной нагрузки при центральном регулировании отпуска теплоты по отопительному графику

Основной тепловой нагрузкой (как выяснено выше) обычно является отопление, поэтому центральное регулирование жилых районов ориентировано на отопительную (или совместную с горячим водоснабжением) нагрузку.

При разнородной тепловой нагрузке (отопление и горячее водоснабжение, вентиляция) жилого района независимо от центрального регулирования должно проводиться групповое и (или) местное регулирование всех видов тепловой нагрузки.

Независимо от принятого метода центрального регулирования температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети должна быть не ниже уровня, определяемого условиями горячего водоснабжения. Минимальная температура сетевой воды t_{nod}^{min} на источнике тепла в подающем трубопроводе согласно табличным данным принимается в зависимости от системы теплоснабжения, для открытой системы (ОС) – не ниже 60 °С, для закрытой системы (ЗС) – не ниже 70 °С.

Расчетная температура горячей воды в местах водоразбора, в соответствии с нормами проектирования, принимается при открытой системе в диапазоне 60–75 °С, а при закрытой системе – в диапазоне 50–75 °С.

Температура воды в подающем трубопроводе на графике имеет вид ломаной линии. При низких наружных температурах $t_n < t_{n,изл}$ (где $-t_{n,изл}$ наружная температура, соответствующая излому температурного графика) температура воды в подающей магистрали t_{nod} повышается в зависимости от понижения температуры наружного воздуха. При наружных температурах $t_n > t_{n,изл}$ температура воды в подающем трубопроводе постоянна и равна минимальной температуре $t_{nod} = t_{nod}^{min}$

Гидравлический режим закрытых систем

Одно из важных условий нормальной работы систем теплоснабжения заключается в обеспечении в тепловой сети перед групповыми или местными тепловыми пунктами (ГТП или МТП) располагаемых напоров, достаточных для подачи в абонентские установки расходов воды, соответствующих их тепловой нагрузке.

Задача расчета гидравлического режима сети заключается в определении расходов сетевой воды у абонентов и на отдельных участках сети, а также давлений (напоров) и располагаемых перепадов давлений (напоров) в узловых точках сети, на групповых и местных тепловых пунктах (абонентских вводах) при заданном режиме работы сети.

Заданными обычно являются схема тепловой сети, сопротивления s всех ее участков, давления (напоры) на подающем и обратном коллекторах ТЭЦ или располагаемый перепад давлений (напоров) на коллекторах ТЭЦ и давление (напор) в нейтральной точке сети. При наличии на абонентских вводах авторегуляторов известны также расходы сетевой воды у абонентов, поскольку эти расходы поддерживаются с помощью авторегуляторов на заданном уровне. В этом случае по известным расходам сетевой воды у абонентов находят расходы воды на всех участках тепловой сети, а затем потери давления (напора) на всех участках сети строят пьезометрический график, по которому определяют давления (напоры) в узловых точках тепловой сети и на абонентских вводах.

При отсутствии в ГТП или на МТП авторегуляторов расход сетевой воды у абонентов заранее неизвестен и определение их является одной из основных задач расчета гидравлического режима тепловой сети. Для решения этой задачи необходимо знать

кроме сопротивлений всех участков тепловой сети также и сопротивления всех МТП и абонентских установок.

Известно, что можно найти расход воды через любую абонентскую систему, если известны суммарный расход воды и сопротивления участков сети. Из этого следует:

1. Относительный расход воды через абонентскую систему зависит только от сопротивления сети и абонентских установок и не зависит от абсолютного расхода воды в сети.

2. Если к сети присоединено n абонентов, то отношение расходов воды через абонентские установки d/n , где $d < m$, зависит только от сопротивления системы, начиная от узла d до конца сети, и не зависит от сопротивления сети до узла d .

При изменении сопротивления на каком-либо участке тепловой сети у всех абонентов, расположенных между этим участком и концевой точкой сети, расход воды изменяется пропорционально. В той части сети, где расход меняется пропорционально, достаточно определить степень изменения расхода ϕ только у одного абонента.

Если в тепловой сети работают насосные подстанции, то при расчете гидравлического режима частное от деления напора насоса на квадрат расхода воды через насос учитывают как отрицательное сопротивление насоса.

По известным расходам сетевой воды на участках сети и известным сопротивлениям этих участков строят пьезометрический график, по которому определяют напоры (давления) в узловых точках сети и на абонентских вводах.

Характер ожидаемой разрегулировки при любых переключениях с тепловой сети легко установить на основе общей зависимости расходов воды от сопротивлений отдельных элементов тепловой сети.

Расчет необходим только для выявления количественных значений разрегулировки. Так, если от тепловой сети отключится какой-либо абонент, то суммарное сопротивление сети увеличится, при этом суммарный расход воды в сети уменьшится. Вследствие уменьшения расхода воды в тепловой сети уменьшится потеря напора в ее магистралях на участке между станцией и точкой присоединения абонента x , пьезометрический график этого участка магистрали будет более пологим.

Так как в точке x магистральной тепловой сети увеличится располагаемый напор, то увеличится расход воды в сети на участке между точкой L и концевым абонентом, в результате чего пьезометрический график этого участка будет более крутым.

У всех абонентов, расположенных между станцией и точкой x , произойдет непропорциональная разрегулировка, т.е. степень изменения расхода воды ϕ будет различной у разных абонентов.

Если на станции изменяется располагаемый напор, а сопротивление сети s остается неизменным, то суммарный расход воды в тепловой сети, а также расходы воды у всех абонентов изменяются пропорционально корню квадратному из располагаемого напора на станции.

Гидравлическая характеристика регулирующих органов

На групповых и местных тепловых пунктах (подстанциях) регулирование расхода теплоносителя проводится автоматически.

Для получения плавного регулирования необходимо, чтобы перемещение штока регулирующего органа вызывало равномерное изменение расхода теплоносителя.

Рассмотрим, от каких факторов зависит характеристика регулирующих органов. Установим закон изменения расхода теплоносителя от степени открытия регулирующего органа.

В тепловых сетях полные напоры H_1 и H_2 в магистральных сетях могут практически приниматься постоянными независимо от положения регулирующего клапана у отдельных абонентов.

Расход теплоносителя через абонентскую установку при полном открытии клапана имеет точную методику расчета.

Изменение расхода воды при местном регулировании зависит от двух величин:

1) отношения сопротивления местной системы к сопротивлению регулирующего клапана при полном его открытии;

2) характера изменения сопротивления регулирующего органа от хода штока.

Для уменьшения отношения s_a / s'_k регулирующие клапаны следует выбирать с повышенным гидравлическим сопротивлением, гася в них весь избыточный перепад давлений, имеющийся на абонентском вводе.

Гидравлическая устойчивость

Влияние переменного расхода воды в тепловой сети на гидравлический режим неавтоматизированных местных систем может быть значительно уменьшено при повышении гидравлической устойчивости системы.

Под гидравлической устойчивостью понимается способность системы поддерживать заданный гидравлический режим. Чем устойчивее система, тем меньше влияние гидравлического режима всей системы на гидравлический режим отдельных абонентских установок. При питании от общей тепловой сети разнородных тепловых потребителей невозможно без авторегулирования абонентских вводов добиться высокой гидравлической устойчивости системы. Однако путем правильной регулировки системы можно значительно увеличить ее гидравлическую устойчивость.

Количественная оценка гидравлической устойчивости абонентских установок проводится по коэффициенту гидравлической устойчивости, равному отношению расчетного расхода сетевой воды через абонентскую установку к максимально возможному расходу через эту установку в условиях работы данной системы централизованного теплоснабжения.

Коэффициент гидравлической устойчивости абонентских установок, оснащенных авторегуляторами, практически равен единице, так как действительный расход сетевой воды через такие установки при всех режимах равен или близок к расчетному.

При отсутствии на ГТП или МТП (абонентских вводах) авторегуляторов коэффициенты гидравлической устойчивости абонентских установок значительно отличаются от единицы. Максимальная разрегулировка возникает при наибольшем отклонении действительного располагаемого напора в тепловой сети перед абонентской установкой от расчетного значения. При отключении части абонентов от тепловой сети уменьшаются расход воды и потери напора в сети, а располагаемый напор на работающих абонентских вводах возрастает. В пределе, когда потери напора в тепловой сети делаются незначительными по сравнению с располагаемым напором на коллекторах станции, располагаемый напор на абонентских вводах приближается по значению к располагаемому напору на станции и степень изменения расхода в абонентских системах достигает максимального значения.

Гидравлическая устойчивость абонентских систем тем больше, чем меньше потеря напора в тепловой сети и чем больше потеря напора на абонентском вводе.

Для повышения гидравлической устойчивости системы следует все избытки напора, имеющиеся в сети, поглощать при помощи сопротивлений (сопл элеваторов, шайб) и регулирующих клапанов на абонентских вводах или у теплопотребляющих приборов абонентов.

Основной путь повышения гидравлической устойчивости заключается в снижении потери напора в магистральной тепловой сети. Для этого необходимо увеличивать диаметры магистральных тепловых сетей, что, естественно, связано с увеличением начальных затрат на их сооружение.

Коэффициент гидравлической устойчивости характеризует начальную регулировку системы теплоснабжения.

Стабильность гидравлического режима системы зависит не только от ее начальной регулировки, но и от режима расхода воды у отдельных групп абонентов.

Для стабилизации гидравлического режима целесообразно искусственно выравнивать тепловую нагрузку абонентов с резкопеременным расходом теплоты, например с помощью тепловых аккумуляторов, или же применять схемы присоединений, локализирующие переменные гидравлические режимы в пределах установок, где они возникают, не передавая эти режимы на систему теплоснабжения в целом.

Для обеспечения надежной работы тепловых сетей и местных систем необходимо ограничить возможные в условиях эксплуатации изменения давлений в тепловой сети допустимыми пределами. Для этой цели в одной из точек тепловой сети, а при сложных профилях местности в нескольких точках искусственно изменяют давление по определенному закону в зависимости от расхода воды в сети. Эти точки называются точками регулируемого давления. В частном случае, когда давление в этих точках поддерживается постоянным как при работе сети, так и в статическом состоянии, они называются нейтральными точками. Нейтральную точку обычно размещают на перемычке, соединяющей нагнетательный коллектор сетевых насосов со всасывающим коллектором, используя давление в нейтральной точке в качестве импульса, регулирующего расход подпитки в тепловую сеть.

Фиксация давления в отдельных точках системы централизованного теплоснабжения может осуществляться также с помощью расширителей и гидрофоров. Расширитель представляет собой открытый сосуд, установленный на высоте, равной фиксируемому напору. Гидрофор представляет собой закрытый сосуд, в котором вода находится под постоянным напором (давлением) газовой или паровой подушки, равным фиксируемому напору. Постоянное давление над поверхностью воды в гидрофоре создается с помощью специального газового компрессора или от парового источника. При уменьшении давления в тепловой сети вода из расширителя или гидрофора поступает в тепловую сеть и компенсирует утечку воды или уменьшение ее объема в системе, вызванное понижением ее средней температуры.

В крупных системах централизованного теплоснабжения расширители и гидрофоры, как правило, не применяются из-за их меньшей маневренности и большей начальной стоимости, вызываемой большими габаритами и более сложной компоновкой по сравнению с насосными подпиточными устройствами.

Гидравлический режим открытых систем

Основная особенность гидравлического режима открытых систем теплоснабжения заключается в том, что при водоразборе расход воды в обратном трубопроводе тепловой сети меньше расхода в подающем трубопроводе. Разность расходов воды в подающем и обратном трубопроводах равна водоразбору плюс утечки из системы.

Положение пьезометрического графика обратной линии тепловой сети зависит от водоразбора. С увеличением водоразбора уменьшается расход воды по обратной линии и пьезометрический график обратной линии становится более пологим. Когда водоразбор равен расходу воды в подающей линии тепловой сети, расход воды в обратной линии равен нулю, пьезометрический график обратной линии принимает вид горизонтальной прямой. При одинаковых диаметрах подающей и обратной линий тепловой сети и отсутствии водоразбора пьезометрические графики этих линий располагаются симметрично.

Часто в открытых системах теплоснабжения вместо регулятора расхода устанавливаются постоянные сопротивления (ПС) — дросселирующие вставки на подающей и обратной линиях сети перед узлом водоразбора. В таких сетях изменение водоразбора или перераспределение водоразбора между подающей и обратной линиями вызывает изменение расходов воды не только в обратной, но и в подающей линии тепловой сети. В этих условиях осуществлять центральное регулирование отопительной нагрузки можно

только в том случае, если степень изменения расхода воды через отопительные системы одинакова у всех абонентов.

Гидравлический режим сетей с насосными и дросселирующими подстанциями

В современных крупных системах теплоснабжения нередко сооружаются подстанции. Последнее вызывается обычно неблагоприятным профилем района, большой дальностью передачи теплоты, высокой расчетной температурой воды в подающей линии (превышающей допустимый уровень для абонентских установок), необходимостью значительного увеличения пропускной способности действующих тепловых сетей без их перекладки и т.п. Схема подстанции и ее размещение в сети определяются конкретным назначением.

Но подстанция не всегда единственно возможное решение задачи. Во многих случаях тот же технический эффект может быть получен и другим путем, например при оснащении соответствующими устройствами всех абонентских установок. В этом случае подстанция заменяется многочисленными индивидуальными установками. Преимущество подстанции по сравнению с индивидуальными установками заключается, как правило, в централизованном управлении системой и упрощении ее эксплуатации.

Все основное оборудование на подстанциях оснащается приборами авторегулирования, а при отсутствии постоянного дежурного поста также приборами дистанционного контроля и управления. Основное оборудование подстанций состоит в большинстве случаев из насосов, дросселирующих устройств, приборов регулирования, управления и контроля.

Смесительные насосы работают параллельно с насосной установкой ТЭЦ, поэтому включение в работу смесительных насосов приводит к увеличению гидравлического сопротивления потоку воды, поступающему из тепловой сети. Это вызывает уменьшение расхода воды из тепловой сети и увеличение располагаемых напоров в узлах включения насосных подстанций.

Задача расчета гидравлического режима такой тепловой сети заключается в определении расходов воды в сети и располагаемых напоров в отдельных ее узлах после включения насосной подстанции. Известными являются сопротивления всех участков тепловой сети и абонентских систем, а также напоры насосов ТЭЦ и подстанции. Определение расходов воды проводится методом последовательных приближений, так как сопротивление насосной подстанции заранее неизвестно.

Задаются предварительно расходом воды через насосную подстанцию, определяют сопротивление (отрицательное) насосной подстанции, подсчитывают суммарное сопротивление сети, определяют суммарный расход воды в тепловой сети и расход воды на отдельных ее участках, в том числе и через насосную подстанцию. Если предварительно выбранный расход воды через насосную не совпадает с полученным по расчету, то задаются другим, более близким к полученному расходом и расчет повторяют вновь до тех пор, пока предварительно выбранный расход воды через насосную подстанцию не совпадает с полученным по расчету.

Значительно проще решается обратная задача, когда задан гидравлический режим сети при работе насосной подстанции и требуется рассчитать гидравлический режим сети при выключении подстанции.

В этом случае сопротивление насосной подстанции известно, поскольку известен напор, развиваемый насосной подстанцией, и расход воды через нее. Задача сводится к расчету суммарного сопротивления тепловой сети без насосной подстанции и к однозначному определению суммарного расхода в тепловой сети и расхода воды у отдельных абонентов.

Гидравлический удар в тепловых сетях

Гидравлическим ударом называется волновой процесс, во. пикающий в капельной жидкости при быстром изменении ее скорости. В трубопроводах этот процесс сопровождается мгновенными местными повышениями и понижениями давления, которые могут значительно выходить за пределы, имеющие место при стабильном режиме.

В современных водяных тепловых сетях вероятность возникновения гидравлических ударов в последние годы существенно возросла в связи с увеличением единичной тепловой мощности теплоисточников (ТЭЦ и районных котельных), вводом в работу длинных теплопроводов большого диаметра и мощных насосных подстанций с большим количеством регулирующих приборов, клапанов и задвижек, а также включением в систему теплоснабжения пиковых водогрейных котлов.

При отказе какого-либо элемента такой системы, например при внезапной остановке насосов на станции или подстанциях, может произойти резкое изменение скорости воды в сети, сопровождающееся гидравлическим ударом.

Опасность возникновения гидравлического удара возрастает при включении в систему водогрейных котлов. В этом случае внезапное изменение расхода воды через котел может привести к резкому повышению температуры воды в котле, а затем к ее вскипанию в сети и последующей конденсации образовавшихся паровых пузырей в потоке воды более низкой температуры, сопровождающейся гидравлическим ударом.

Гидравлический удар может также возникнуть при быстром закрытии регулирующих клапанов на насосных и дроссельных подстанциях, вызвавшем резкое изменение скорости воды в сети.

Волны гидравлического удара распространяются по системе со скоростью звука в воде около 1000 м/с и могут многократно повторяться, пока энергия удара не израсходуется на работу сил трения и деформацию трубопроводов или не будет погашена в специальных устройствах, ограничивающих распространение гидравлического удара (воздушные колпаки, резервуары и другие устройства). Наибольшую амплитуду изменения давления имеет обычно первая волна удара, которая поэтому является наиболее опасной.

При гидравлическом ударе давление p возникает практически мгновенно; поэтому вызываемые гидравлическим ударом напряжения и деформации в трубопроводах существенно, примерно в 2 раза, больше, чем при постепенном повышении давления. Волновое сопротивление равно давлению (напору) гидравлического удара, возникающему в трубопроводе при изменении в нем объемного расхода на 1 м³ за время. Ударное давление, возникающее в системе теплоснабжения при внезапной остановке сетевых насосов, может быть найдено графическим методом.

Для защиты системы теплоснабжения от недопустимого повышения давления при гидравлическом ударе применяются специальные устройства, которые по принципу работы можно разделить на следующие группы:

1) устройства, изменяющие знак волны давлений. К ним относятся обратные клапаны на перемычках, соединяющие трубопроводы, в которых волны давлений имеют разные знаки.

2) устройства, тормозящие повышение давления (газовые и воздушные колпаки);

3) устройства для сброса давлений. К ним относятся уравнительные резервуары, разрывные диафрагмы и предохранительные клапаны. Последние малонадежны из-за возможного прикипания и недостаточного быстрого действия;

4) устройства, изменяющие характеристику источника возмущения. К ним относится установка маховых колес на валу насоса, которые увеличивают момент инерции агрегата, благодаря чему возрастает его постоянная времени. Это приводит к увеличению времени, за которое при отключении электропитания частота вращения насоса изменяется от нормальной до нуля и следовательно, снижает ударный напор.

Время, за которое частота вращения насоса при отключении электропитания изменяется в n раз.

Следует иметь в виду, что независимо от гидравлического удара, вызывающего волновой процесс изменения давления, при прекращении циркуляции воды может установиться повышенное статическое давление в системе под действием потенциальной энергии воды в трубопроводах, находящихся под давлением. Для предупреждения таких режимов остановка циркуляции воды в крупных тепловых сетях должна осуществляться по программе, предусматривающей предварительное снижение потенциальной энергии систем до прекращения циркуляции.

Оборудование тепловых пунктов (подстанций)

Основное назначение тепловых пунктов (подстанций) заключается в установлении и поддержании параметров теплоносителя (давления, температуры и расхода) на заданном уровне, необходимом для надежной и экономичной работы теплопотребляющих установок, питаемых от подстанции.

Схемы и оборудование тепловых подстанций зависят от вида теплоносителя и характера теплопотребляющих установок.

При паровом теплоносителе основное оборудование тепловых подстанций (ТП) состоит из паровых коллекторов, приборов для регулирования и контроля параметров пара (давления, температуру расхода), теплообменников для использования пролетного пара и пара вторичного вскипания, конденсаторных баков и насосных установок для откачки конденсата.

При водяном теплоносителе основное оборудование тепловых подстанций состоит из водоструйных (элеваторных) и центробежных насосов, водо-водяных теплообменников, аккумуляторов горячей воды, приборов для регулирования и контроля параметров сетевой воды, приборов и устройств для защиты от коррозии и накипобразования местных установок горячего водоснабжения.

Тепловые подстанции оснащаются приборами контроля и учета теплоты и теплоносителя, а также автоматическими устройствами для регулирования Отпуска теплоты и поддержания заданных параметров теплоносителя в абонентских установках.

Тепловые пункты (подстанции) сооружаются как местные — для каждого здания, так и групповые — для группы зданий; ГТП широко применяются на промышленных предприятиях, а также в районах жилой застройки.

Последнее обусловлено часто не столько технико-экономическими соображениями, сколько требованиями выноса насосов из подвалов жилых и общественных зданий для снижения шума в этих зданиях до нормируемого уровня. Сооружение ГТП улучшает управление крупными системами теплоснабжения, а в условиях недостаточного оснащения жилых зданий средствами контроля, регулирования и учета тепловой энергии и теплоносителя позволяет выполнять эти функции на групповом уровне. Но при этом в жилых районах возрастают затраты на сооружение коммуникаций между ГТП и абонентскими установками. Целесообразность сооружения ГТП, а также оптимальная степень концентрации тепловой нагрузки на ГТП, т.е. оптимальное количество ГТП для данного конкретного микрорайона, должны определяться технико-экономическим расчетом.

Аккумуляторы теплоты

Для снижения начальных затрат на сооружение системы теплоснабжения и упрощения эксплуатации применяют различные методы выравнивания резкопеременной тепловой нагрузки абонентов путем аккумуляирования теплоты. При этом используется как естественная аккумулирующая способность зданий и отдельных элементов системы теплоснабжения (строительные конструкции отапливаемых зданий, трубопроводы

тепловых сетей), так и специальные тепловые аккумуляторы, устанавливаемые у абонентов или в отдельных узлах системы теплоснабжения.

Аккумуляторы горячей воды. Расчетную емкость аккумуляторов для выравнивания графика тепловой нагрузки можно определять графическим методом, предложенным А.В. Хлудовым.

Сущность метода заключается в следующем. На основании суточного графика расхода теплоносителя строится интегральный график расхода. Каждая ордината интегрального графика расхода равна суммарному расходу теплоносителя от начала суток до момента, соответствующего указанной ординате. Интегральным графиком подачи при суточном выравнивании расхода теплоносителя является прямая, соединяющая начало координат с конечной ординатой суточного интегрального графика расхода. Угловой коэффициент интегрального графика подачи равен среднечасовой подаче теплоносителя.

С увеличением водоразбора снижается располагаемый напор в аккумуляторе и циркуляционной системе горячего водоснабжения, вследствие чего уменьшается подача горячей воды на зарядку аккумулятора и падает расход воды через полотенцесушители и циркуляционную линию. При некотором водоразборе располагаемый напор в аккумуляторе делается равным нулю и зарядка аккумулятора прекращается. Одновременно или несколько раньше прекращается циркуляция воды через полотенцесушители, так как располагаемая разность напоров в циркуляционной линии делается равной нулю. Обратный клапан закрывается.

Защита местных установок горячего водоснабжения от коррозии, шлама и накипи

В открытых системах теплоснабжения местные установки горячего водоснабжения, как правило, не нуждаются в защите от коррозии, шлама и накипи, так как они питаются умягченной деаэрированной водой.

В закрытых системах теплоснабжения в местные установки горячего водоснабжения поступает вода из водопровода, содержащая агрессивные газы, главным образом O_2 , CO_2 , соли временной жесткости и в ряде случаев агрессивные вещества — хлориды и сульфаты ($Cl + SO_4$). Поэтому при определенных условиях возникает опасность коррозии и зашламления местных установок горячего водоснабжения и абонентских подогревательных установок.

Поскольку температура воды, используемой для горячего водоснабжения, невысока (около $60\text{ }^{\circ}C$), то для очень широкого диапазона естественных качеств природных вод защита установок горячего водоснабжения от коррозии и зашламления может проводиться сравнительно простыми средствами без сооружения сложных и дорогостоящих установок для умягчения и деаэрации воды, которые необходимы при высоких температурах подогрева воды.

Опасность зашламления зависит в первую очередь от карбонатной (временной) жесткости воды. При мягкой воде накипь и шлам в системе горячего водоснабжения, как правило, не выпадают. Поэтому при такой воде нет необходимости в защите установок горячего водоснабжения от накипи и зашламления.

При воде средней жесткости в подогревателе и на внутренней поверхности трубопровода в процессе эксплуатации образуется тонкая пленка накипи, вызывающая незначительное увеличение термического сопротивления подогревательной установки и гидравлического сопротивления трубопроводов горячего водоснабжения. Как показывает опыт, такая пленка при отсутствии или малом содержании в воде агрессивной углекислоты, а также хлоридов и сульфатов ($O + SO_4$) удовлетворительно защищает от коррозии трубопроводы горячего водоснабжения, выполненные из черных стальных труб.

При воде повышенной жесткости возникает опасность зашламления системы. Поэтому необходимо предусматривать установку на ГТП или МТП упрощенных защитных устройств против зашламления и накипеобразования.

Одним из таких устройств является аппарат для омагничивания воды. Такие аппараты строятся как с постоянными магнитами, так и с электромагнитами.

Магнитные аппараты устанавливаются в вертикальном положении на трубопроводе холодной воды перед подогревателями горячего водоснабжения. Вода проходит через аппарат снизу вверх и равномерно заполняет все его проходное сечение; скорость воды составляет около 1 м/с.

В результате воздействия магнитного силового поля на воду способность воды выделять накипь уменьшается.

Так же необходимо предусматривать защиту от коррозии местных установок горячего водоснабжения. Эта задача может решаться двумя принципиально различными путями:

1) повышением антикоррозионной стойкости системы горячего водоснабжения, т.е. выполнением ее из элементов, устойчивых против коррозии;

2) созданием на ГТП и МТП специальных установок для снижения коррозионной активности воды.

3) Первый путь должен рассматриваться как основной метод повышения долговечности установок горячего водоснабжения. Он наиболее прост и наиболее экономичен по начальным затратам и эксплуатационным расходам.

4) Второй путь, заключающийся в децентрализованной обработке воды, требует повышенных начальных затрат и усложняет эксплуатацию.

5) Повышение антикоррозионной стойкости установок горячего водоснабжения. Опыт эксплуатации систем горячего водоснабжения показывает, что основным наиболее уязвимым для коррозии элементом являются отопительные приборы ванных комнат — полотенцесушители, присоединенные к трубопроводам горячего водоснабжения.

6) Горячая циркуляционная вода движется через полотенцесушители с малой скоростью. Возникают застойные зоны, в которых выпадают загрязнения и продукты коррозии, что создает особенно благоприятные условия для развития интенсивной локальной коррозии в полотенцесушителях, выполненных из черных стальных труб.

7) Коррозия наиболее уязвимого элемента системы горячего водоснабжения — полотенцесушителей может быть практически ликвидирована при изготовлении их из коррозионно-стойкого материала, имеющего электрохимические свойства, близкие к свойствам материала трубопроводов горячего водоснабжения, т.е. стали. Таким материалом является чугун. Одним из возможных решений является изготовление полотенцесушителей из секций отопительных чугунных радиаторов.

Второе мероприятие, повышающее антикоррозионную стойкость установок горячего водоснабжения, заключается в выполнении коммуникаций из труб, имеющих поверхностную антикоррозионную защиту. Коррозия коммуникаций горячего водоснабжения может быть практически полностью устранена при применении труб из низколегированной стали, например X18H9T. Однако эти трубы очень дороги, поэтому их сколько-нибудь широкое использование для установок горячего водоснабжения проблематично. Дальнейшее совершенствование установок горячего водоснабжения должно идти по пути разработки стойких, долговечных антикоррозионных покрытий, например эмалирования, а также применения трубопроводов из полимерных материалов. Долговечность местных систем горячего водоснабжения в значительной степени зависит также от схемы установки и условий эксплуатации, в первую очередь от теплового и гидравлического режимов.

Коррозионная активность растворенных газов возрастает с ростом температуры. Особенно она усиливается при температуре выше 60—65 °С. Поэтому необходимо все установки горячего водоснабжения оснащать регуляторами температуры, настроенными по минимальному пределу (55—60 °С).

Большое значение имеет также правильный гидравлический режим системы горячего водоснабжения. Основное требование заключается в том, чтобы при всех режимах, в

том числе и в часы максимального водо-разбора, местная система горячего водоснабжения была полностью заполнена водой, что предупреждает подсос воздуха в систему.

Антикоррозионная обработка воды. Коррозионно-агрессивная водопроводная вода, т.е. вода, имеющая отрицательный индекс насыщения ($J < 0$), вызывает коррозию не только трубопроводов горячего водоснабжения, но и холодных водопроводов.

Экономически более целесообразно снизить коррозионную активность такой воды путем централизованной ее обработки на водопроводных станциях. Известны способы обработки (стабилизации) таких вод, например, путем известкования. Известковое молоко, введенное в нестабилизированную воду, связывает агрессивную уголекислоту и устраняет агрессивность воды.

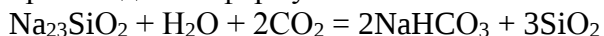
Для антикоррозионной обработки воды применяют вакуумную деаэрацию или силикатирование.

Вакуумная деаэрация является наиболее эффективной. В вакуум-деаэрационной установке можно снизить содержание основного коррозионного агента в воде — кислорода в 10—20 раз (до 1—0,5 мг/л).

Вакуум-деаэрация дает существенный эффект при водах различного состава, даже при наиболее агрессивных водах.

Силикатирование воды. Для обработки силикатом натрия используется трисиликат натрия $\text{Na}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$ как в твердом (глыба или гранулы), так и в жидком виде. Более эффективно использование жидкого трисиликата натрия.

Фильтр трисиликата натрия включен после подогревателя горячего водоснабжения параллельно с линией горячей воды, на которой установлена дозаторная диафрагма. Реакция взаимодействия трисиликата натрия с растворенной в воде свободной уголекислотой происходит по формуле



Как видно из уравнения, Na_2O связывает свободный диоксид углерода, растворенный в воде и, таким образом, снижает коррозионную агрессивность воды благодаря увеличению pH воды и соответственному увеличению индекса насыщения.

Кроме того, оксид силиция SiO_2 образует на поверхности трубопроводов прочную защитную пленку и поэтому изолирует ее от непосредственного контакта с водой.

Основным преимуществом метода является простота устройства установки и ее эксплуатации, но при этом требуется санитарный контроль.

Оборудование тепловых сетей

Трасса и профиль теплопроводов. Тепловая сеть — это система прочно и плотно соединенных между собой участков теплопроводов, по которым теплота с помощью теплоносителя (пара или горячей воды) транспортируется от источников к тепловым потребителям.

Направление теплопроводов (трасса) выбирается по тепловой карте района с учетом материалов геодезической съемки, плана существующих и намечаемых надземных и подземных сооружений, данных о характеристике грунтов, высоте стояния грунтовых вод и т.п. Следует стремиться к прокладке магистральной трассы в районе наиболее плотной тепловой нагрузки, к наименьшей длине теплопроводов и минимальному объему работ по сооружению сети.

Для предупреждения коррозии не рекомендуется прокладывать подземные тепловые сети в одном проезде параллельно с трамвайными путями и отсасывающими кабелями постоянного тока, а также на территориях бывших свалок, участков, подвергающихся затоплению загрязненными жидкостями, в заболоченных местах.

Вопрос о выборе типа теплопровода (надземный или подземный) решается с учетом местных условий и технико-экономических обоснований.

При высоком уровне грунтовых и внешних вод, большой густоте существующих подземных сооружений на трассе проектируемого теплопровода, сильно пересеченной оврагами местности и пересечении многоколейных железнодорожных путей в большинстве случаев отдается предпочтение надземным теплопроводам. Они обычно также применяются на территориях промышленных предприятий при совместной прокладке энергетических и технологических трубопроводов на общих эстакадах или высоких опорах.

В жилых районах из архитектурных соображений обычно применяется подземная прокладка тепловых сетей.

Однако опыт показывает, что надземные теплопроводы долговечнее и более ремонтнопригодны по сравнению с подземными. Поэтому желательно изыскивать возможность хотя бы частичного применения в городах надземных теплопроводов на низких отдельно стоящих опорах, в первую очередь на окраинах городов, в промышленных зонах, в районах, не подлежащих застройке, и др.

В особо тяжелых грунтовых условиях (вечномерзлые грунты, просаживающиеся и заболоченные участки) должны, как правило, применяться надземные теплопроводы.

При выборе трассы теплопровода следует руководствоваться в первую очередь условиями надежности теплоснабжения, безопасности работы обслуживающего персонала и населения, возможностью быстрой ликвидации неполадок и аварий. По условиям безопасности работы тепловых сетей и надежности теплоснабжения не допускается прокладка в общих каналах теплопроводов совместно с кислородопроводами, газопроводами, трубопроводами сжатого воздуха давлением выше 1,6 МПа, трубопроводами легковоспламеняющихся и ядовитых жидкостей и газов, трубопроводами фекальной иливневой канализации.

При проектировании подземных теплопроводов по условиям снижения начальных затрат следует выбирать минимальное количество камер, сооружая их только в пунктах установки арматуры и приборов, нуждающихся в обслуживании. Количество требующихся камер сокращается при применении сильфонных или линзовых компенсаторов, а также осевых компенсаторов с большим ходом (сдвоенных компенсаторов), естественной компенсации температурных деформаций.

Для защиты паропровода от попадания конденсата из конденсатопровода в период остановки паропровода или падения давления пара после конденсатоотводчиков должны устанавливаться обратные клапаны или затворы.

Выбранное направление трассы тепловых сетей с учетом норм приближения к сооружениям и смежным коммуникациям наносится на план геодезической съемки с привязкой оси трассы к существующим зданиям или другим сооружениям.

По трассе тепловых сетей строится продольный профиль, на который наносят планировочные (красные) и существующие (черные) отметки земли, уровень стояния грунтовых вод, существующие и проектируемые подземные коммуникации и другие сооружения, пересекаемые теплопроводом, с указанием вертикальных отметок этих сооружений. На рис. 9.1 приведены для иллюстрации трасса и профиль участка подземного теплопровода в непроходном канале.

Теплоизоляционные материалы и конструкции

Важное значение в устройстве теплопровода имеет тепловая изоляция. От качества изоляционной конструкции теплопровода зависят не только тепловые потери, но, что не менее важно, его долговечность. При соответствующем качестве материалов и технологии изготовления тепловая изоляция может одновременно выполнять роль антикоррозионной защиты наружной поверхности стального трубопровода. К таким материалам, в частности, относятся полиуретан и производные на его основе — полимербетон и бетон.

Основные требования к теплоизоляционным конструкциям заключаются в следующем:

- низкая теплопроводность как в сухом состоянии, так и в состоянии естественной влажности;
- малое водопоглощение и небольшая высота капиллярного подъема жидкой влаги;
- малая коррозионная активность;
- высокое электрическое сопротивление;
- щелочная реакция среды ($\text{pH} > 8,5$);
- достаточная механическая прочность.

Требования к теплоизоляционным материалам и конструкциям подземных теплопроводов существенно отличаются от требований к теплоизоляционным материалам для теплопроводов, расположенных в помещениях электростанций, котельных или производственных цехов.

Так, основными требованиями для теплоизоляционных материалов паропроводов электростанций и котельных являются низкая теплопроводность и высокая температуростойкость. Такие материалы обычно характеризуются большим содержанием воздушных пор и малой объемной плотностью.

Последнее качество этих материалов предопределяет их повышенные гигроскопичность и водопоглощение.

Одно из основных требований к теплоизоляционным материалам для подземных теплопроводов заключается в малом водо-поглощении. Поэтому высокоэффективные теплоизоляционные материалы с большим содержанием воздушных пор, легко впитывающие влагу из окружающего грунта, как правило, непригодны для подземных теплопроводов.

Выбор теплоизоляционной конструкции и ее размеров зависит от типа теплопровода и располагаемых исходных материалов и выполняется на основе технико-экономических расчетов. При современных масштабах теплофикации и централизованного теплоснабжения проблема тепловой изоляции тепловых сетей имеет большое народнохозяйственное значение. Ежегодные тепловые потери действующих в настоящее время систем теплофикации и централизованного теплоснабжения могут быть оценены в 800 млн ГДж/год, т.е. в 8 % количества передаваемой теплоты.

Даже с учетом эффекта комбинированной выработки тепловой и электрической энергии расход топлива на покрытие тепло-потерь составляет 18 млн т топлива в год в условном исчислении. При снижении теплопотерь вдвое, что вполне достижимо при современных теплоизоляционных конструкциях, можно получить экономию около 9 млн т топлива в год в пересчете на условное.

Кроме снижения теплопотерь тепловая изоляция облегчает обслуживание оборудования теплопроводов вследствие понижения температуры воздуха в подземных камерах и проходных каналах, а также устраняет опасность ожогов обслуживающего персонала. Одновременно со снижением тепловых потерь уменьшается падение температуры теплоносителя вдоль теплопровода, что повышает качество и экономичность теплоснабжения.

Очень важно сохранение теплоизоляционного материала в сухом состоянии. При увлажнении возрастает теплопроводность

При одной и той же влажности теплопроводность изоляционного материала обычно не совпадает с теплопроводностью изоляционной конструкции, выполненной из того же материала. Уплотнение изоляционного материала и применение различного рода добавок при изготовлении конструкции в большинстве случаев приводят к увеличению теплопроводности изоляционного слоя.

При сооружении теплопроводов в каналах в качестве тепловой изоляции часто применяются изделия из минеральной ваты, защищенные битуминировкой от увлажнения. На наружную поверхность стальной трубы накладывается антикоррозионное покрытие (эмаль, изол и др.). На антикоррозионное покрытие укладываются скорлупы из минеральной ваты, армированные стальной сеткой. Сверху скорлуп укладываются

полуцилиндрические асбоцементные футляры, закрепляемые на теплопроводе стальной сеткой, покрываемой сверху асбоцементной штукатуркой.

Испытание тепловых сетей

При приемке в эксплуатацию вновь сооруженных тепловых сетей, а также для проверки состояния действующих сетей проводятся их испытания. Целью испытаний обычно служат:

- проверка работы и выявление дефектов оборудования при наиболее напряженных гидравлических и тепловых режимах;
- определение технических характеристик, необходимых для нормирования показателей тепловых сетей, насосных подстанций и т.п., а также — для разработки наиболее рациональных режимов работы СЦТ;
- контроль фактических технических показателей состояния и режимов работы тепловой сети и элементов ее оборудования, выяснение причины их отклонения от расчетных или ранее установленных опытных значений.

Основные виды испытаний:

- гидравлические: на прочность и герметичность (плотность), на гидравлическое сопротивление (потери давления) отдельных элементов СЦТ;
- тепловые: на максимальную температуру теплоносителя и на тепловые потери.

Гидравлические и тепловые испытания обычно проводятся раздельно для создания условий, способствующих большей точности измерений. Здесь излагаются только принципиальный порядок и особенности испытаний.

Гидравлические испытания на прочность и герметичность. Испытания на прочность и герметичность проводятся как на отдельных участках, так и на всей сети в целом. При проведении таких испытаний должны быть надежно отключены абонентские установки, испытания которых должны проводиться отдельно.

При испытаниях на прочность и герметичность участков вновь смонтированных трубопроводов вместе с арматурой создается пробное давление, превышающее рабочее на 25 %.

Пробное давление поддерживается в течение короткого периода времени (обычно 15 мин), а затем снижается до рабочего. Результаты испытания, признаются удовлетворительными, если после установления рабочего давления его снижение не превышает 10 % за 2 ч.

Для определения утечки воды из испытываемого участка сети используется метод сравнения времени естественного падения давления (при обычных условиях) со временем падения давления на такое же значение при искусственном спуске воды.

Определение гидравлического сопротивления. Основное назначение этих испытаний — определение фактических гидравлических сопротивлений с отдельных участков тепловой сети и водоподогревательных установок ТЭЦ. Начальный этап этих испытаний заключается в определении высотных (геодезических) отметок характерных точек сети, на которых установлены измерители давления (манометры). Высотные отметки оси испытываемого трубопровода обычно определяются по данным инструментальной нивелировки или специальным испытанием в статическом состоянии системы, т.е. при отсутствии циркуляции воды в сети.

В этом случае за нулевую отметку принимают положение манометра, показывающего наибольшее давление.

Тепловые испытания на максимальную температуру. Основная задача этих испытаний — проверка работы устройств, компенсирующих тепловые деформации теплопровода. Эти испытания проводятся обычно при отключенных Установках потребителей теплоты, но включенных перемычках у тех потребителей, которые обеспечивают циркуляцию воды в ответвлениях. Продолжительность испытания определяется из условия поддержания максимальной температуры воды на концевых участках сети в течение срока равного 30 минутам.

Испытание на тепловые потери. Основное назначение таких испытаний — проверка эффективности тепловой изоляции теплопроводов и установление исходных показателей для расчета тепловых потерь сети.

Испытания на тепловые потери должны проводиться при установившемся тепловом режиме. Поэтому их целесообразно осуществлять сразу после окончания отопительного сезона, когда грунт вблизи теплопровода прогрет, благодаря чему снижается продолжительность испытаний. Если до испытаний тепловая сеть длительно не работала, то необходимо предварительно вывести ее на установившийся тепловой режим посредством длительного (до стабилизации тепловых потерь) поддержания температуры, намечаемой для проведения испытания.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практическое занятие – это один из предусмотренных учебным планом видов учебной работы, где отрабатываются и закрепляются навыки и знания, полученные студентами на лекционных занятиях, а также умение самостоятельно работать с литературой. Поэтому работа над выполнением практического задания должна быть результатом тщательного изучения рекомендованной по данной теме научной и учебной литературы

План проведения практического занятия:

1. Вводная часть включает формулировку темы и цели занятия; повторение теоретических сведений по теме;
2. Основная часть предполагает самостоятельное выполнение заданий студентами. Сопровождается дополнительными разъяснениями по ходу работы (при необходимости), текущим контролем и оценкой результатов работы;
3. Заключительная часть содержит: подведение общих итогов занятия; оценку результатов работы студентов; ответы на вопросы студентов; выдачу рекомендаций по устранению пробелов в системе знаний и умений студентов, по улучшению результатов работы; задание на дом для закрепления пройденного материала и по подготовке к следующему практическому занятию.

Примерный перечень задач по дисциплине «Отопление, вентиляция, кондиционирование»

Практическое занятие на тему «Гидравлический расчет тепловых сетей»

Пример 1. Определить предельную скорость воды в трубопроводах, выше которой линейное падение давления практически подчиняется квадратичному закону. При расчете принять температуру воды $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ и эквивалентную шероховатость трубопровода принять равной $0,5\text{ мм}$.

Пример 2. Определить удельное линейное падение давления для воды с температурой 75°C , проходящей по трубопроводу диаметром 100 мм со скоростью $0,2\text{ м/с}$. Эквивалентная шероховатость трубопровода принять равной $0,5\text{ мм}$.

Пример 3. По трубопроводу с внутренним диаметром 514 мм и длиной 1000 м подается вода в количестве $K=0,35\text{ м}^3/\text{с} = 1260\text{ м}^3/\text{ч}$ с температурой $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ и избыточным давлением в начальной точке $p_i=0,8\text{ МПа}$. Отметка оси трубопровода в его конечной точке на 8 м выше отметки начальной точки. Сумма коэффициентов местных сопротивлений равна 10 . Определить полный напор (сумма геометрического, пьезометрического и динамического напоров) и сумму геометрического и пьезометрического напоров в начальной и конечной точках трубопровода, а также давление в конечной точке. При расчете эквивалентную шероховатость принять равной $0,5\text{ мм}$.

Пример 4. Определить давление в конце трубопровода с внутренним диаметром $d=0,259\text{ м}$, по которому пропускается пар в количестве $G=2,78\text{ кг/с}=10\text{ т/ч}$ с начальными параметрами $p_i=0,6\text{ МПа}$ (абс.) и $T_i=220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($p_i=2,66\text{ кг/м}^3$). Эквивалентная шероховатость трубопровода равна $0,2\text{ мм}$. Удельные тепловые потери с учетом местных потерь $q=160\text{ Вт/м}$. Остальные данные по трубопроводу взять из примера 4.

Пример 5. Определить пропускную способность конденсатопровода диаметром $d=150\text{ мм}$ и длиной 1000 м , по которому конденсат подается в конденсатный бак, находящийся на отметке 18 м . Конденсатный насос, установленный на отметке 0 , создает напор $H=30\text{ м}$. Конденсатопровод имеет следующее количество местных сопротивлений: задвижек 4 шт. , обратных клапанов поворотных 1 шт. , водомеров 1 шт. , гнутых колен 6 шт. , П-образных компенсаторов 12 шт. При расчете эквивалентную шероховатость принять равной 1 мм .

Пример 6. Для обогрева нефтепровода проложен в общей изоляционной рубашке с ним паропровод — спутник с внутренним диаметром $d=50\text{ мм}$ и длиной 2000 м . Весь поступивший в паропровод-спутник пар в количестве $G=0,0833\text{ кг/с}=300\text{ кг/ч}$ с начальными

параметрами $p_i=0,6$ МПа (абс.) и $T=180^\circ\text{C}$ полностью в нем конденсируется и отводится. Определить давление в конце паропровода-спутника. При расчете коэффициент местных потерь давления принять равными 0,1, а эквивалентную шероховатость труб 0,2 мм.

Практическое занятие на тему «Гидравлический режим тепловых сетей»

Пример 1. Подача (расход) воды со станции в тепловую сеть составляет $V=0,4$ м³/с=1440 м³/ч при разности напоров на коллекторах станции равной 100 м. Определить расход воды V , если разность напоров на коллекторах станции будет снижена до 50 м за счет частичного прикрытия задвижки на нагнетательном патрубке насоса. Положение запорных органов у потребителей и на трубопроводах сети за пределами коллекторов станции остается неизменным.

Пример 2. Определить пропускную способность транзитного двухтрубного теплопровода длиной (в двух направлениях) 2000 м с внутренним диаметром труб $d_i=309$ мм, на конце которого имеется перемычка длиной 1 м с внутренним диаметром 100 мм. На перемычке установлена задвижка, причем эта задвижка при расчете принимается полностью открытой. Сумма коэффициентов местных сопротивлений трубопровода в двух направлениях равна 20 и перемычки вместе с задвижкой 4,5. Разность напоров на коллекторах станции равна 50 м. Эквивалентная шероховатость труб равна 0,5 мм.

Пример 3. График напоров для двухтрубной водяной сети с параллельной схемой включения подогревателей горячего водоснабжения при расчетном режиме изображен на чертеже. Водяная сеть имеет магистральные участки I—III и ответвления 1, 2. Расчетный расход воды у каждого абонента принять из. Определить расходы воды на отопление указанных абонентов при отключении водоподогревателей горячего водоснабжения от сети. Регуляторы расхода воды перед элеваторами отсутствуют. Разность напоров на выводах со станции при любых режимах остается постоянной и равна 10 м.

Пример 4. Решить пример 3 при условии, что вместо подогревателей горячего водоснабжения имеется непосредственный водоразбор из подающей линии у потребителя. График напоров и расходы воды на отопление и горячее водоснабжение для нормального режима работы принять теми же, что и в примере 3. Потери напора в подающей и обратной линиях при работе горячего водоснабжения условно принять одинаковыми (за счет соответствующего подбора диаметров труб для подающих и обратных линий).

Пример 5. Для двухтрубной неавтоматизированной водяной сети с участками I—III и потребителями 1—3 график напоров для нормального режима работы и схема изображены на рисунке. Определить расходы воды, которые должны быть установлены у каждого из потребителей при пуске сети, если включение их осуществлять последовательно с конца сети (начиная с потребителя 3). Расходы воды у каждого потребителя при пуске должны быть установлены с таким расчетом, чтобы после включения последнего потребителя (потребитель 1) у каждого потребителя установился нормальный расход воды. Разность напоров на выводах со станции при всех режимах остается постоянной и равной 40 м.

Пример 6. Схема водяной сети с участками 1;2, группами потребителей и с насосной подстанцией на обратной магистрали изображена на рисунке. При нормальном режиме работы разность напоров подающей и обратной магистралей в местах присоединения к ним ответвлений для каждой группы потребителей равна 25 м, а расход воды в каждом ответвлении $V=1800$ м³/с. При этом же режиме напор, создаваемый насосами на станции, составляет 120 м, из которых 15 м теряется в коммуникациях станции, а напор, создаваемый насосами на подстанции, 40 м, из которых 5 м теряется в коммуникациях подстанции. Потери в коммуникациях станции и подстанции условно отнесены к подающим трубопроводам. Определить расход воды в каждой из двух групп потребителей и построить пьезометрический график для аварийного режима работы, когда насосы на подстанции останавливаются. Потери напора на участках тепловой сети принять по пьезометрическому графику. Положение регулирующих вентилей на станции и подстанции остается неизменным.

Пример 7. Решить пример 6 для случая снижения подачи насоса путем уменьшения частоты вращения. Дополнительную потерю энергии при регулировании частотой вращения не учитывать.

Пример 8. В транзитном трубопроводе при нормальном режиме давление воды составляет $p_i=1$ МПа, а скорость воды 2 м/с. Определить давление гидравлического удара при мгновенном частичном закрытии клапана, вызвавшем снижение расхода воды в 2 раза. При расчете скорость звука в воде принять равной 1000 м/с.

Практическое занятие на тему «Теплофикационное оборудование ТЭЦ»

Пример 1. Сетевой подогреватель теплофикационной установки ТЭЦ должен подогревать воду в количестве $288 \text{ кг/с}=1039 \text{ т/ч}$ от $t_i=70^\circ\text{C}$ до $t = 116^\circ\text{C}$ паром $p=0,245$ МПа 1 ($t = 126,8^\circ\text{C}$). Требуется выбрать пароводяной сетевой вертикальный подогреватель из серии ПСВ. При расчете загрязнение поверхности нагрева учесть понижающим коэффициентом 0,8.

Пример 2. На ТЭЦ с турбиной Т-105/120-130-2 установлены нижняя и верхняя ступени сетевых подогревателей типов ПСГ-2300-2-8-1 и ПСГ-2300-3-8-1 с площадью поверхности нагрева каждого $F=2300 \text{ м}^2$. Определить температуры сетевой воды после каждого сетевого подогревателя при расходе этой воды $G=1250 \text{ кг/с}$ и ее начальной температуре $t_i=74^\circ\text{C}$. При расчете принять температуру насыщения пара в нижнем сетевом подогревателе $t_{в.н}=105^\circ\text{C}$, а в верхнем — $t_{н.в.}=120^\circ\text{C}$.

Практическое занятие на тему «Оборудование тепловых пунктов»

Пример 1. Произвести тепловой и конструктивный расчет отопительного пароводяного подогревателя горизонтального типа, а также определить потери напора при движении воды в трубках по данным, представленным в таблице. Загрязнение поверхности учесть дополнительным тепловым сопротивлением равным $0,00013 \text{ м}^2/^\circ\text{C/Вт}$.

Пример 2. Выбрать типоразмер отопительного секционного водо-водяного подогревателя, а также определить число секций и потери напора со стороны сетевой и местной воды.

Пример 3. Определить производительность и конечные температуры сетевой и местной воды водо-водяного секционного подогревателя горячего водоснабжения. Подогреватель выполнен по ГОСТ 34-588-68 и состоит из секций длиной по 4 м с наружным диаметром корпуса 268 мм, в котором размещено 37 латунных трубок 16/14 мм. Схема включения подогревателя на абонентском вводе параллельная. Расход сетевой воды (в межтрубном пространстве) равен $6,94 \text{ кг/с}$ и температура ее при входе и подогревателе 70°C .

Пример 4. Определить производительность секционного водо-водяного подогревателя при заданных его размерах и при условии, что сетевая вода охлаждается в подогревателе от 70°C до 30°C , а местная вода нагревается от 5°C до 60°C . Размеры подогревателя принять такими же, какие даны в примере 3. Влиянием термического сопротивления стенки трубок пренебречь. Загрязнение поверхности нагрева учесть коэффициентом 0,75.

Пример 5. Произвести тепловой расчет абонентского ввода с двухступенчатой последовательной схемой горячего водоснабжения, выбрать типоразмер подогревателя по ГОСТ 34-588-68, определить число секций.

Максимальный расход теплоты на горячее водоснабжение $0,93 \text{ МВт}$, а коэффициент часовой неравномерности 2,2. Максимальный расход теплоты на отопление при расчетной температуре наружного воздуха -26°C , Температурный график тепловой сети повышенный, температура внутреннего воздуха 18°C . Расчет подогревателя произвести при температуре наружного воздуха $+2,5^\circ\text{C}$ (точка «излома» температурного графика), когда температура

воды в подающей линии тепловой сети поддерживается 83°C .

При балансовой нагрузке горячего температура воды перед элеватором 70°C , в подающей линии отопительной системы $50,5^{\circ}\text{C}$ и после отопительной системы $41,7^{\circ}\text{C}$. Коэффициент смещения элеватора $u=2,2$. Местная вода нагревается в подогревателе от 5°C до 60°C . Загрязнение поверхности нагрева учесть коэффициентом $p=0,75$.

Пример 6. Построить характеристику элеватора № 3 типа ВТИ — Теплосеть Мосэнерго. Элеватор имеет сопло диаметром $d_s=5,2$ мм и цилиндрическую камеру смещения диаметром 25 мм. При расчете необходимые данные принять из примера 5.

Практическое занятие на тему «Оборудование тепловых сетей».

Пример 1. Для водяного трубопровода с наружным диаметром $d_B=530$ мм и толщиной стенки 8 мм определить напряжение растяжения от внутреннего избыточного давления $p=1,6$ МПа в поперечном и продольном сечениях, а также суммарное. Трубопровод не нагружен (вдоль оси) от внутреннего давления.

Пример 2. Для трубопровода, приведенного в примере 1, определить максимальное суммарное напряжение, если расстояние между подвижными опорами трубопровода 16 м, а удельная нагрузка на единицу длины трубопровода (с учетом массы трубы, воды и изоляции) 3540 Н/м. Напряжения изгиба от тепловых деформаций отсутствуют.

Пример 3. Решить пример 2 для случая, когда, помимо растяжения от давления и изгиба от собственной силы тяжести, трубопровод изгибается в горизонтальной плоскости от теплового удлинения и при этом в нем возникает напряжение 50 МПа.

Пример 4. Определить допустимый пролет между подвижными опорами водяного трубопровода 57X3 мм, проложенного в канале. При расчете принять удельную нагрузку на единицу длины трубопровода с водой и изоляцией 126 Н/м, а допускаемое напряжение изгиба от собственной силы тяжести для сварного стыка 40 МПа.

Пример 5. Определить горизонтальную реакцию скользящей опоры под водяным трубопроводом диаметром $d_B=530$ мм, если расстояние между опорами равно 16 м, а удельная нагрузка на единицу длины трубопровода с водой и изоляцией 3540 Н/м. При расчете принять коэффициент трения 0,4 и ввести коэффициент 1,5 для учета возможности просадки одной из опор.

Пример 6. Решить пример 5 при условии прокладки теплопровода в проходном канале и установки вместо скользящей опоры роликовой опоры с радиусом цапфы 15 мм и радиусом ролика 45 мм. Плечо (коэффициент) трения качения принять $s=0,510^{-3}$ м.

Практическое занятие на тему «Эксплуатация тепловых сетей»

Пример 1. Определить испытательное давление для отбраковки корродированного трубопровода на ремонт. Внутренний диаметр трубопровода составляет $d_B=0,514$ м, а рабочее давление — $p_r=1,3$ МПа. Испытательное давление выбрать с таким расчетом, чтобы при проведении испытания разрушились бы стенки участков трубопровода толщиной 0,75 мм. При расчете временное сопротивление разрыву материала трубы принять 380 МПа.

Пример 2. При приемочном испытании трубопровода с арматурой (сальниковые компенсаторы и задвижки) диаметром 207 мм и длиной 900 м избыточное давление воды в нем было поднято с 0,8 до 1 МПа за счет подкачки 70 л воды за время 4 мин. После прекращения подкачки давление воды начало падать. Время падения давления с 1 до 0,8 МПа составило 16 мин, причем в этот же промежуток времени через дренажный вентиль было выпущено 20 л воды для ускорения снижения давления. Определить часовую утечку воды из трубопровода, часовую утечку воды, отнесенную к единице емкости трубопровода, и часовую утечку воды, отнесенную к единице материальной характеристики.

Пример 3. Для условий предыдущей задачи определить объем воздуха в трубопроводе при абсолютном давлении 0,1 МПа. При расчете влиянием сжатия воды пренебречь.

Пример 4. При первом режиме испытания по определению герметичности отопительной системы емкостью 100 м³ избыточное давление в ней понизилось с 0,6 до 0,58

МПа в течение 21 мин, причем краны на линиях дренажа системы были закрыты. Затем давление в системе отопления было вновь поднято до 0,6 МПа и проведен второй режим испытания, при котором давление было снижено до 0,58 МПа за время равное 1 мин путем выпуска воды в мерный сосуд в количестве 3 л. Высота отопительной системы 20 м. Определить часовую и удельную часовую (на 1 м³ емкости системы) утечки воды, а также объем воздуха в системе при абсолютном давлении 0,1 МПа. Влиянием сжатия воды пренебречь.

Пример 5. Гидравлическое испытание по проверке герметичности и прочности водяной сети емкостью 5000 м³ намечено проводить при уменьшенном количестве циркулирующей сетевой воды за счет частичного прикрытия задвижки на обратной линии перед подпиточным трубопроводом. При этом среднее избыточное давление в сети возрастает с 0,5 до 1,1 МПа.

Определить время, необходимое для указанного повышения давления при максимальном расходе подпиточной воды 40 м³/ч, если средняя утечка воды в период повышения давления составляет 12 м³/ч, а объем воздуха в трубопроводах сети при абсолютном давлении 0,1 МПа равен 8 % емкости сети. Температура воды в период испытания остается постоянной.

Пример 6. Определить время опорожнения от воды трубопровода диаметром 259 мм и длиной 400 м, проложенного с уклоном 0,012. Спускной клапан диаметром 50 мм расположен в нижней точке трубопровода. Коэффициент расхода спускника равен 0,6. При расчете принять, что трубопровод представляет собой наклонный цилиндр с горизонтальным основанием и усеченный в верхней точке параллельно основанию. При расчете также принять, что диаметр воздушника в верхней точке трубопровода достаточно большой, поэтому давление воздуха над уровнем воды в трубопроводе можно с допустимой точностью считать равным атмосферному.

Пример 7. Транзитный двухтрубный теплопровод с диаметром труб 514 мм длиной трассы 4000 м снабжает теплотой группу потребителей через водо-водяные подогреватели. Расход сетевой воды составляет 830 м³/ч, а расход подпиточной воды при постоянной температуре воды в транзитном трубопроводе 5,5 м³/ч. Определить средний расход подпиточной воды за час, если в течение этого часа будет производиться равномерное повышение температуры воды в подающем трубопроводе от 70 до 90 °С при неизменном давлении в сети.

Пример 8. У двухтрубного стального водяного теплопровода с наружным диаметром 108 мм и толщиной стенки трубы 4 мм, проложенного на открытом воздухе, на значительной длине обратного трубопровода была разрушена полностью тепловая изоляция. Определить, через какое время начнется образование льда в указанном участке после аварийного выключения циркуляции воды при температуре наружного воздуха 25⁰С. Температура воды в обратном трубопроводе перед выключением циркуляции воды была 70⁰С. При расчете принять коэффициент теплоотдачи на внутренней стенке трубопровода 200 Вт/(м²-°С), а на наружной стенке 20 Вт/(м²-°С).

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студенту предоставляется возможность работать во время учебы более самостоятельно, чем учащимся в средней школе. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Этапы самостоятельной работы:

- осознание учебной задачи, которая решается с помощью данной самостоятельной работы;

- ознакомление с инструкцией о её выполнении;

- осуществление процесса выполнения работы;

- самоанализ, самоконтроль;

- проверка работ студента, выделение и разбор типичных преимуществ и ошибок.

Самостоятельная работа студентов является обязательным компонентом учебного процесса для каждого студента и определяется учебным планом.

Методические рекомендации по изучению теоретических основ

Изучение теоретической части дисциплины призвано не только углубить и закрепить знания, полученные на аудиторных занятиях, но и способствовать развитию у студентов творческих навыков, инициативы и организовать свое время.

Самостоятельная работа при изучении дисциплины включает:

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;

- знакомство с Интернет-источниками;

- подготовку к различным формам контроля (тесты, коллоквиумы);

- выполнение домашних заданий.

Планирование времени, необходимого на изучение дисциплин, студентам лучше всего осуществлять весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение материала.

Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно прорабатывать и дополнять сведениями из других источников литературы, представленных не только в программе дисциплины, но и в периодических изданиях.

При изучении дисциплины сначала необходимо по каждой теме прочитать рекомендованную литературу и составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих тем курса. Для расширения знания по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы; проводить поиски в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем.

Методические рекомендации по подготовке и сдаче экзамена.

Экзамен - это завершающий этап подготовки студента, механизм выявления и оценки результатов учебного процесса и установления соответствия уровня профессиональной подготовки. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент должен ликвидировать имеющиеся пробелы в знаниях, систематизировать и упорядочить свои знания.

При подготовке к экзамену студентам целесообразно использовать материалы лекций, учебно-методические комплексы, основную и дополнительную литературу.

Формулировка вопросов экзаменационного билета совпадает с формулировкой перечня рекомендованных для подготовки вопросов экзамена, доведенного до сведения студентов накануне экзаменационной сессии.

При проработке той или иной темы курса сначала следует уделить внимание конспектам лекций, а уж затем учебникам, и другой печатной продукции. При подготовке необходимо тезисно записать ответы на наиболее трудные, с точки зрения студента, вопросы. Запись включает дополнительные (моторные) ресурсы памяти.

Представляется крайне важным посещение студентами проводимой перед экзаменом консультации. Здесь есть возможность задать вопросы преподавателю по тем разделам и темам, которые недостаточно или противоречиво освещены в учебной, научной литературе или вызывают затруднение в восприятии.

Важно, чтобы студент грамотно распределил время, отведенное для подготовки к экзамену. В этой связи целесообразно составить календарный план подготовки к экзамену, в котором в определенной последовательности отражается изучение или повторение всех экзаменационных вопросов. Подготовку к экзамену студент должен вести ритмично и систематично.

Рекомендации по работе с литературой.

Работа с литературой является основным методом самостоятельного овладения знаниями. Это сложный процесс, требующий выработки определенных навыков, поэтому студенту нужно обязательно научиться работать с книгой. После просмотра книги целиком или отдельной главы, которая была необходима для изучения определенной темы курса, нужно сделать записи в виде краткого резюме источника. В таком резюме следует отразить основную мысль изученного материала, приведенные в ее подтверждение автором аргументы, ценность данных аргументов и т.п. Данные аргументы помогут сформировать собственную оценку изучаемого вопроса. Во время изучения литературы необходимо конспектировать и составлять рабочие записи прочитанного. Такие записи удлиняют процесс проработки, изучения книги, но способствуют ее лучшему осмыслению и усвоению, выработке навыков кратко и точно излагать материал. В идеале каждая подобная запись должна быть сделана в виде самостоятельных ответов на вопросы, которые задаются в конце параграфов и глав изучаемой книги. Однако такие записи могут быть сделаны и в виде простого и развернутого плана, цитирования, тезисов, резюме, аннотации, конспекта. Наиболее надежный способ собрать нужный материал – составить конспект. Конспект – это краткое изложение своими словами содержания книги.

Методические указания по использованию информационных технологий.

Обучение сегодня предполагает активное использование информационных технологий при организации своей познавательной деятельности. Интернет удобное средство для общения и получения информации. Наличие огромного количества материалов в Сети и специализированных поисковых машин делает Интернет незаменимым средством при поиске информации в процессе обучения, участия в конференциях онлайн, создании собственных сайтов, получения нормативных документов, публикации своих работ и сообщение о своих разработках. Информационные технологии в процессе изучения дисциплины используются для осуществления контроля знаний, для оценки уровня подготовки студентов (интернет-экзамен в сфере профессионального образования (ФЭПО), интернет тренажеры). Необходимо помнить, что к информации, получаемой с помощью ресурсов Интернет надо относиться критично, она должна оцениваться трезво, с большой долей реализма. Кроме того, ответственные пользователи Интернета должны выполнять закон об авторском праве.

4. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы современной энергетики. Том 1. Современная теплоэнергетика [Электронный ресурс] : учеб. / Трухний А.Д. [и др.]. — Электрон. дан. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2010. — 472 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72255>. — Загл. с экрана.
2. Теплофикация и тепловые сети [Текст] : учеб.: рек. Мин. обр. РФ / Е. Я. Соколов. - 8-е изд., стер. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2006. - 472 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 465. - ISBN 5-903072-15-9 (в пер.)
3. Теплоснабжение города [Электронный ресурс] : учебное пособие / . — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 58 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55062.html>
4. Шарапов В.И. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения [Электронный ресурс] : монография / В.И. Шарапов, П.В. Ротов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Новости теплоснабжения, 2007. — 165 с. — 978-5-94296-017-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/4488.html>
5. Подпоринов Б.Ф. Теплоснабжение [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б.Ф. Подпоринов. — Электрон. текстовые данные. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2011. — 267 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/28404.html>
6. Стерлигов В.А. Централизованное теплоснабжение предприятий, поселений и городских округов. Курсовое и дипломное проектирование [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Стерлигов, Т.Г. Мануковская, Е.М. Крамченков. — Электрон. текстовые данные. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. — 105 с. — 978-5-88247-616-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55175.html>
7. Фатнева, Ю.В. Теплоснабжение жилого района. Уч–мет пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун–т. 2003. – 35 с.
8. Теплофизические свойства воды и водяного пара: С.Л. Ривкин. А.А. Александров. – М: Энергия. 2004. – 424с.
9. МКД – 4 – 05.2004. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения». – М.: ЗАО «Роскоммунэнерго» при участии Российской ассоциации «Коммунальная энергетика» и Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова, 2003. – 60с.