

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

Строительный факультет

Кафедра теплотехники и гидравлики

УТВЕРЖДЕН  
на заседании кафедры  
«29» августа 2017 г.,  
протокол № 1  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.С. Васильев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В15 «ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ»**

Направление подготовки (специальность) 08.03.01 Строительство

Квалификация (степень) выпускника – бакалавр

Профиль (направленность) Теплогазоснабжение и вентиляция  
Прикладной бакалавриат

Методические материалы разработаны на основе рабочей программы дисциплины, предусмотренной образовательной программой высшего образования (ОП ВО) по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» направленность (профиль) «Теплогазоснабжение и вентиляция».

*СОСТАВИТЕЛЬ:*

Старший преподаватель  
кафедры теплотехники и гидравлики \_\_\_\_\_ Н.А. Федоров

*СОГЛАСОВАНО:*

Методическая комиссия строительного факультета «30» августа 2017 г., протокол №1.

Декан факультета \_\_\_\_\_ А.Н. Плотников

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО

В процессе изучения дисциплины обучающиеся формируют следующие компетенции и демонстрируют соответствующие им результаты обучения:

<b>Компетенция по ФГОС</b>	<b>Основные показатели освоения</b>
ПК-1 знанием нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест	<b>Знать</b> нормативные документы по проектированию теплогенерирующих установок
	<b>Уметь</b> применять нормативные документы для расчета и проектирования
	<b>Владеть</b> методикой расчета с использованием нормативных документов
ПК-6 способностью осуществлять и организовывать техническую эксплуатацию зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивать надежность, безопасность и эффективность их работы	<b>Знать</b> техническую эксплуатацию зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства, и способы обеспечения надежности, безопасности и эффективности их работы
	<b>Уметь</b> осуществлять и организовывать техническую эксплуатацию зданий, сооружений
	<b>Владеть</b> методами организации технической эксплуатацию зданий, сооружений объектов жилищно-коммунального хозяйства
ПК-9 способностью вести подготовку документации по менеджменту качества и типовым методам контроля качества технологических процессов на производственных участках, организацию рабочих мест, способность осуществлять техническое оснащение, размещение и обслуживание технологического оборудования, осуществлять контроль соблюдения технологической дисциплины, требований охраны труда и экологической безопасности	<b>Знать</b> устройство теплогенерирующих установок отечественного и импортного производства.
	<b>Уметь</b> применять правила и технологии монтажа, наладки, испытания и сдачи в эксплуатацию теплогенерирующих установок и основного и вспомогательного оборудования котельных
	<b>Владеть</b> правилами и технологиями монтажа, наладки, испытания и сдачи в эксплуатацию теплогенерирующих установок и основного и вспомогательного оборудования котельной.
ПК-13 - знанием научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по профилю деятельности	<b>Знать</b> правила и технологии монтажа, наладки, испытания и сдачи в эксплуатацию котельных установок и основного и вспомогательного оборудования котельных.
	<b>Уметь</b> осуществлять поиск научно-технической информации в области котельных установок, основного и вспомогательного оборудования котельных
	<b>Владеть</b> научно-технической информацией, отечественного и зарубежного опыта в области теплогенерирующих установок и основного вспомогательного оборудования котельных.

## **2. Методические указания обучающимся по выполнению самостоятельной работы**

Самостоятельная работа определяется спецификой дисциплины и методикой ее преподавания, временем, предусмотренным учебным планом, а также ступенью обучения, на которой изучается дисциплина.

Для самостоятельной подготовки можно рекомендовать следующие источники: конспекты лекций и/или практических и лабораторных занятий, учебную литературу соответствующего профиля.

Преподаватель в начале чтения курса информирует обучающихся о формах, видах и содержании самостоятельной работы, разъясняет требования, предъявляемые к результатам самостоятельной работы, а также формы и методы контроля и критерии оценки.

### **Методические рекомендации по подготовке к зачету**

Подготовка к зачету начинается с первого занятия по дисциплине, на котором обучающиеся получают предварительный перечень вопросов к зачёту и список рекомендуемой литературы, их ставят в известность относительно критериев выставления зачёта и специфике текущей и итоговой аттестации. С самого начала желательно планомерно осваивать материал, руководствуясь перечнем вопросов к зачету и списком рекомендуемой литературы, а также путём самостоятельного конспектирования материалов занятий и результатов самостоятельного изучения учебных вопросов.

### **Методические рекомендации по подготовке к экзамену**

Экзамен преследует цель оценить работу студента за определенный курс: полученные теоретические знания, их прочность, развитие логического и творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умения анализировать и синтезировать полученные знания и применять на практике решение практических задач.

Экзамен проводится в письменной форме по билетам, утвержденным заведующим кафедрой. Экзаменационный билет включает в себя два вопроса. Формулировка вопросов совпадает с формулировкой перечня вопросов, доведенного до сведения студентов за один месяц до экзаменационной сессии. В процессе подготовки к экзамену организована предэкзаменационная консультация для всех учебных групп. Результат экзамена выражается оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно».

С целью уточнения оценки экзаменатор может задать не более одного-двух дополнительных вопросов, не выходящих за рамки требований рабочей программы. Под дополнительным вопросом подразумевается вопрос, не связанный с тематикой вопросов билета. Дополнительный вопрос, также как и основные вопросы билета, требует развернутого ответа. Кроме того, преподаватель может задать ряд уточняющих и наводящих вопросов, связанных с тематикой основных вопросов билета. Число уточняющих и наводящих вопросов не ограничено.

### **Методические рекомендации по выполнению РГР**

*Цель РГР* – систематизация и закрепление теоретических знаний и развитие практических навыков по решению задач, выработка навыков анализа статистических данных и формулирования выводов по полученным результатам.

*Задачами РГР* являются:

- развитие навыков самостоятельной работы в области решения практических задач;
- подбор и систематизация теоретического материала, являющегося основой для решения практической задачи, развитие навыков самостоятельной работы с учебной, методической и нормативной литературой;
- проведение расчетов по исходным данным и анализ полученных значений;
- формулирование выводов по полученным результатам.

### *Структура РГР:*

РГР состоит из двух частей: расчетно-пояснительной записки и графической части.

Расчетно-пояснительная записка включает в себя:

1. Титульный лист.
2. Оглавление.
3. Задание. На данном этапе надо полностью изложить данное обучающемуся задание.
4. Исходные данные. Студент предоставляет все существующие исходные данные, которые могут понадобиться для проведения расчетов.
5. Разделы, которые будут содержать практические решения и анализ полученных результатов.
6. Выводы.
7. Список использованных источников.
8. Приложения.

Графическая часть проекта выполняется на двух листах бумаги формата А1. Графическое изображение проекций, обозначения, шрифты должны быть выполнены по правилам оформления строительных чертежей в соответствии с ГОСТ. На чертежах должны быть представлены: Чертеж котла, тепловая схема котельной, разрезы.

### *Требования по оформлению РГР:*

Набор текста производится в текстовом редакторе MicrosoftWord шрифтом TimesNewRoman размером 12 pt через 1,5 интервала или 14 pt через 1 интервал. Рекомендуемое значение поля страницы: левое – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее и нижнее 20 мм.

Нумерация страниц курсового проекта должна быть сквозная.

Все иллюстрации, помещаемые в расчетно-графическую работу, должны быть тщательно подобраны, четко выполнены. Рисунки и диаграммы должны иметь прямое отношение к тексту, без лишних изображений и данных, которые не поясняются.

## **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

РГР служит для углубления и закрепления знаний, полученных при изучении дисциплины «Теплогенерирующие установки».

Выполнение РГР начинается с получения задания и его изучения. Предварительно следует ознакомиться с современными материалами по проектированию и строительству районов новой застройки.

Задание включает текстовую часть и варианты исходных данных. Индивидуальные задания различаются исходными данными в соответствии с номером студента в журнале. Задание оформляется на отдельном листе и помещается в расчетно-пояснительной записке после титульного листа.

Титульный лист должен содержать следующие данные: название учебного заведения, кафедры, дисциплины, темы курсового проекта, фамилию и инициалы студента, год выполнения.

## **ЗАДАНИЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ**

В расчетной части проекта разрабатываются следующие вопросы: выбор и обоснование типа теплогенерирующей установки, ее принципиальная тепловая схема. Выполняется расчет схемы водоподготовки и выбирается соответствующее оборудование для обработки воды. Приводится аэродинамический расчет спроектированного газоздушного тракта установки и производится выбор тяговых и дутьевых установок (устройств). Выбирается вспомогательное оборудование.

Графическая часть состоит из двух листов формата А1. На одном листе вычерчивается принципиальная тепловая схема котельной со спецификацией оборудования. На втором листе приводится компоновка главного корпуса котельной и располагаемое в нем оборудование в трех разрезах со всеми необходимыми строительными размерами.

Цель методических указаний – дать правильное направление самостоятельной работе студентов по выполнению курсового проекта и выбору необходимого оборудования. Для каждого студента задается месторасположение котельной для определения расчетных температур по СНиП 2.01.01-82.; Строительная климатология и геофизика: площадь жилмассива  $F_{ж=}$  для теплоснабжения,  $m^2$ ; расход пара на технологические нужды  $D_{тех=}$ ; доля возврата конденсата от технологических потребителей  $K_{в=}$ , %. Тип котлов и их параметры принять из первой части расчета парогенератора.

**Другие параметры принято задавать в виде табличных данных (табл 1.1).**

Величина	Обозначение	Единица величины	Значение	Примечание
1	2	3	4	5
1.Средняя температура наиболее холодной пятидневки	$t_{нб}$	$^{\circ}C$	-35	СНиП 2.01.01-82
2.Средняя температура наиболее холодного месяца	$t_{нх}$	$^{\circ}C$	-14,9	СНиП 2.01.01-82
3.Допустимая температура внутри помещения	$t_{вд}$	$^{\circ}C$	18	СНиП 2.01.01-82
4.Средняя оптимальная температура	$t_{во}$	$^{\circ}C$	21	СНиП 2.01.01-82
5.Укрупненный показатель максимального часового расхода тепла на отопление жилых зданий	$q$	$Вт/м^2$	230	СНиП 11-36-73
6.Расчетная максимальная температура сетевой воды в подающей линии	$t_{р д}$	$^{\circ}C$	150	По заданию
1	2	3	4	5
7.Средняя температура воды в нагревательном приборе системы отопления	$t_{р пр}$	$^{\circ}C$	82,5	По заданию
8.Расчетная максимальная температура сетевой воды в обратной линии	$t_{р 2о}$	$^{\circ}C$	70	Принимаем
9.Жилплощадь массива	$F_{ж}$	$м^2$	17000	По заданию
10.Расчетная температура внутри отапливаемых зданий	$t_{вр}$	$^{\circ}C$	18	СНиП 2.01.01-82
11.Количество жителей	$и$	чел.	1700	По заданию
12.Расход воды на человека в сутки	$q_{ч}$	$\frac{л}{чел. сут}$	120	СНиП 11-34-76
13.Температура горячей воды	$t_{г.ср}$	$^{\circ}C$	55	СНиП 11-34-76
14.Коэффициент часовой неравномерности	$K_{ч}$		2	СНиП 11-34-76
15.Доля возврата конденсата с производства	$K_{в}$	%	55	По заданию
16.Значение непрерывной продувки	$p$	%	2-5	От $D_{к}$
17.Температура конденсата, возвращаемого с производства	$t_{кп}$	$^{\circ}C$	80-95	По заданию

18.Расход пара на мазутное хозяйство	$D_{\text{маз}}$	т/ч	0,2	По нормам
19.Температура конденсата от сетевого подогревателя	$t_6$	°С	80	Прини-маем
21.Параметры пара после РОУ: давление температура энтальпия	$P_2$ $t_2$ $i''_2$	МПа °С кДж/кг	0,59 158,1 2756	По [9]
22.Параметры пара, образующегося в сепараторе непрерывной продувки: давление температура энтальпия	$P_3$ $t_3$ $i''_3$	МПа °С кДж/кг	0,166 114,4 2698	По [9]
23.Параметры пара, поступающего в охладители выпара из деаэратора: давление температура энтальпия	$P_4$ $t_4$ $i''_4$	МПа °С кДж/кг	0,118 104,3 2683	По [9]
24.Параметры конденсата после охладителей выпара: давление температура энтальпия	$P_4$ $t_4$ $i'_4$	МПа °С кДж/кг	0,118 104,3 437	По [9]
25.Параметры продувочной воды на входе в сепаратор непрерывной продувки: давление температура энтальпия	$P_k$ $t_k$ $i'_k$	МПа °С кДж/кг	1,3 191,6 814,7	По [9]
27.Температура сырой воды (зимой)	$t_{\text{хз}}$	°С	5	По СНиП
28.Температура сырой воды (летом)	$t_{\text{хл}}$	°С	15	По СНиП
29.Температура воды, поступившей на ХВО	$t_{\text{х}}$	°С	25	Прини-маем
30.Температура продувочной воды на выходе из охладителя продувки	$t_{\text{пр}}$	°С	40	Прини-маем
31.Температура воды на выходе из деаэратора	$t_{\text{д}}$	°С	104	По заданию
32.Удельный объем воды в системе теплоснабжения	$q_{\text{сист}}$	т/МВт	50	Для жилых зданий
33.Расход пара на технологические нужды	$D_{\text{тех}}$	т/ч	12	По заданию

### ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В РГР входят расчетно-пояснительная записка и графическая часть.

Расчетно-пояснительная записка должна быть написана в соответствии с правилами оформления разборчивым почерком. В конце записки приводится список литературы,

использованной при выполнении проекта. Ссылки на литературные источники даются в тексте (в квадратных скобках приводятся номера источников, соответствующие номерам в списке рекомендуемой литературы).

В начале расчетно-пояснительной записки должны быть помещены титульный лист установленного образца, оглавление, исходные данные для выполнения курсового проекта.

Расчет тепловой схемы позволяет определить суммарную теплопроизводительность котельной установки при нескольких режимах ее работы. Согласно [1] расчет тепловых схем должен выполняться для трех характерных режимов:

- 1) максимально-зимнего – при средней температуре наружного воздуха в наиболее холодную пятидневку (расчетный),  $t_{нб}$ ;
- 2) наиболее холодного месяца – при средней температуре наружного воздуха в наиболее холодный месяц,  $t_{нх}$ ;
- 3) летнего – при расчетной температуре наружного воздуха теплого периода.

Для расчета в курсовом проекте предлагается принципиальная тепловая схема котельной с парогенераторами для закрытой системы теплоснабжения (рис.1).

Пар из котла 1 поступает на редукционно-охладительную установку (РОУ) 2, где снижается его давление и температура. Основная часть пара используется на производственные нужды 13, а часть подается на пароводяные подогреватели сетевой

воды 9, откуда она направляется в закрытую систему тепловых сетей 14.

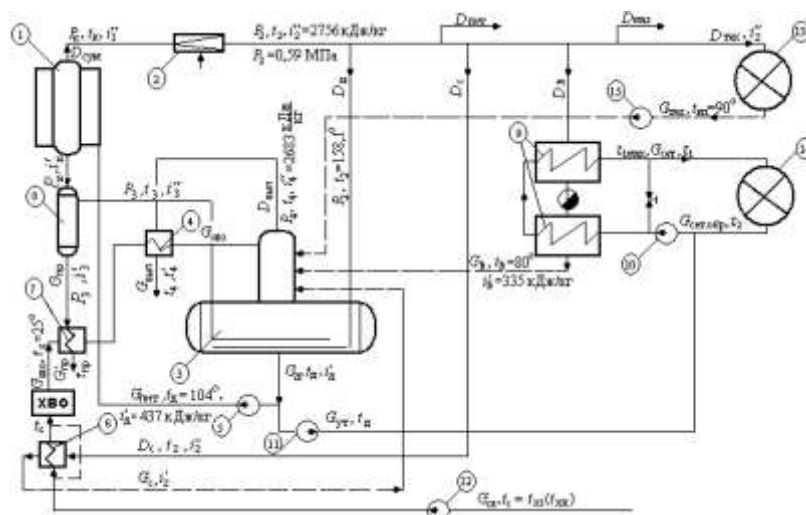


Рис.1 Принципиальная тепловая схема отопительно-производственной котельной:

1 – паровой котёл; 2 – РОУ; 3 – деаэраitor; 4 – охладитель пара; 5 – питательный насос; 6 – подогреватель сырой воды; 7 – охладитель продувочной воды; 8 – сепаратор непрерывной продувки; 9 – сетевой подогреватель; 10 – насос сетевой воды; 11 – насос подпиточный; 12 – насос сырой воды; 13 – потребитель технологического пара; 14 – потребители сетевой воды; 15 – конденсатный насос

Конденсат от потребителей и подогревателей сетевой воды подается в деаэраitor 3. Из деаэратора питательная вода подается питательным насосом 5 в паровой котел и подпиточным насосом 11 – в обратную магистраль сетевой воды. Сырая вода насосом 12 подается в подогреватель 6, далее вода проходит химическую водочистку (ХВО), охладитель непрерывной продувки 7, охладитель пара 4 и поступает в деаэраitor 3. Для подогрева воды в деаэраиторе до температуры кипения используется редуцированный пар и выпар непрерывной продувки из сепаратора 8, которые подаются в бак-аккумулятор деаэратора под уровень воды. Загрязненный конденсат после теплообменников 4 и 7 далее не используется и сбрасывается в дренаж.



В тексте пояснительной записки помещаются следующие графики и схемы: расчетная схема главной ветви системы горячего водоснабжения микрорайона с указанием номеров участков, их длин и расходов теплоносителя; принципиальная схема ЦТП; суточный график расхода тепла на горячее водоснабжение; интегральный график расхода тепла на горячее водоснабжение; графики регулирования отпуска теплоты; графики расходов теплоносителя; расчетная схема тепловой сети; пьезометрический график.

*Графическая* часть проекта выполняется на двух листах бумаги формата А1. Графическое изображение проекций, обозначения, шрифты должны быть выполнены по правилам оформления строительных чертежей в соответствии с ГОСТ 21.605-82 «Сети тепловые (тепломеханическая часть)».

Графическая часть включает в себя:

- 1) план типового этажа с нанесением стояков, разводки и водоразборных приборов.
- 2) план подвала или чердака здания с нанесением разводящих и циркуляционных трубопроводов, ввода трубопроводов горячего водоснабжения и указанием диаметров участков.
- 3) аксонометрическую схему трубопроводов системы горячего водоснабжения здания с указанием номеров участков, диаметров труб и номеров стояков;
- 4) генеральный план тепловых сетей;
- 5) монтажную схему тепловой сети;
- 6) продольный профиль тепловой сети;
- 7) разрез по каналу;
- 8) аксонометрическую схему, план и разрез тепловой камеры.

## **РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

### **2.3. Расчет тепловой схемы котельной с паровыми котлами**

Отпуск пара технологическим потребителям часто производится от котельных, называемых производственными. Эти котельные обычно вырабатывают насыщенный или слабо перегретый пар с давлением до 1,4 или 2,4 МПа. Пар используется технологическими потребителями и в небольшом количестве – на приготовление горячей воды, направляемой в систему теплоснабжения. Приготовление горячей воды производится в сетевых подогревателях, устанавливаемых в котельной. Сетевые подогреватели включаются последовательно. Первый подогреватель по ходу пара является пароводяным теплообменным аппаратом, а второй – водоводяным. Сетевые подогреватели обеспечивают отпуск теплоты на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения в закрытой системе теплоснабжения.

Для закрытых систем теплоснабжения ввиду малого расхода подпиточной воды используется общий деаэратор для приготовления питательной и подпиточной воды. Для открытых систем теплоснабжения расход подпиточной воды может быть значительным, поэтому в котельных необходимо устанавливать два деаэратора: один для приготовления питательной воды, другой – подпиточной воды.

В котельных с паровыми котлами, как правило, устанавливаются деаэраторы атмосферного типа.

Для технологических потребителей, использующих пар более низкого давления по сравнению с вырабатываемым котлоагрегатами, и для собственных нужд котельной предусматривается редукционная установка для снижения давления пара РУ или редукционно-охладительная установка для снижения давления и температуры пара РОУ.

При расчете тепловой схемы котельной с паровыми котлами (см. рис. 1) необходимо определить следующие параметры:

1. Температура воздуха внутри отапливаемых жилых зданий  $t_b$ , °С:  
для максимально-зимнего режима

$$t_b^p = t_{бд} = 18;$$

для режима наиболее холодного месяца

$$t_{\text{в}} = t_{\text{во}} - (t_{\text{во}} - t_{\text{вд}}) \frac{8 - t_{\text{yx}}}{8 - t_{\text{нб}}} =$$

2. Относительный расход теплоты на отопление жилых зданий  $\overline{Q_o^{\text{ж}}}$ :

для максимально-зимнего режима

$$\overline{Q_o^{\text{пж}}} = 1;$$

для режима наиболее холодного месяца

$$\overline{Q_o^{\text{ж}}} = \left(1 - \frac{26}{1,16q}\right) \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{нх}}}{t_{\text{вд}} - t_{\text{нб}}} - \frac{26}{1,16q} =$$

3. Температура сетевой воды в подающей линии  $\vartheta_1$ , °C:

для максимально-зимнего режима

$$\tau_1^{\text{п}} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$\tau_1 = \vartheta_{\text{в}} + (\tau_{\text{пр}}^{\text{п}} - t_{\text{вд}}) (\overline{Q_o^{\text{ж}}})^{0,8} + (\vartheta_1^{\text{п}} - \vartheta_{\text{пр}}^{\text{п}}) \overline{Q_o^{\text{ж}}} =$$

для летнего режима

$$\tau_1^{\text{л}} = 100 =$$

4. Температура сетевой воды в обратной линии после системы отопления  $\vartheta_{2o}$ , °C:

для максимально-зимнего режима

$$\vartheta_{2o}^{\text{п}} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$\vartheta_{2o}^{\text{п}} = \vartheta_1 - (\vartheta_1^{\text{п}} + \vartheta_{2o}^{\text{п}}) \overline{Q_o^{\text{ж}}} =$$

для летнего режима

$$\tau_{2o}^{\text{л}} = 30.$$

5. Расход теплоты на отопление жилых зданий жилмассива  $Q_o^{\text{ж}}$ , МВт:

для максимально-зимнего режима

$$Q_o^{\text{пж}} = 1,16 \cdot 10^{-6} q F_{\text{ж}} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$Q_o^{\text{ж}} = \overline{Q_o^{\text{ж}}} \cdot Q_o^{\text{пж}} =$$

6. Расход теплоты на отопление общественных зданий  $Q_o^{\text{о}}$ , МВт:

для максимально-зимнего режима

$$Q_o^{\text{по}} = 0,25 Q_o^{\text{пж}} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$Q_o^{\text{о}} = Q_o^{\text{по}} \frac{t_{\text{вп}} - t_{\text{нх}}}{t_{\text{вп}} - t_{\text{нб}}} =$$

7. Расход теплоты на вентиляцию общественных зданий жил-массива  $Q_{\text{в}}$ , МВт:

для максимально-зимнего режима

$$Q_{\text{в}}^{\text{п}} = 0,1 Q_o^{\text{пж}} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{в}}^{\text{п}} \frac{t_{\text{вп}} - t_{\text{нх}}}{t_{\text{вп}} - t_{\text{нб}}} =$$

8. Расход теплоты на отопление и вентиляцию объектов пром-предприятий  $Q_{об}^п$ , МВт:

для максимально-зимнего режима

$$Q_{об}^{пп} = 1,16^{-6} \left[ \sum_{i=1}^n q_{oi} V_i (t_{bi} - t_{нб}) + \sum_{i=1}^n q_{bi} V_i (t_{bi} - t_{нб}) \right] =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$Q_{об}^п = 1,16^{-6} \left[ \sum_{i=1}^n q_{oi} V_i (t_{bi} - t_{нх}) + \sum_{i=1}^n q_{bi} V_i (t_{bi} - t_{нх}) \right] =$$

9. Расход теплоты на горячее водоснабжение жилмассива (средний)  $Q_{гв}^{ср}$ , МВт:

для максимально-зимнего режима и режима наиболее холодного месяца

$$Q_{гв}^{ср} = 1,2 \cdot 10^{-6} \frac{u(q_u + 25)(t_{г.ср} - t_{хз})}{24 \cdot 3,6 \cdot 1000} \rho \cdot c =$$

для летнего режима

$$Q_{гв}^{ср.л} = Q_{гв}^{ср} \frac{t_{г.ср} - t_{хл}}{t_{г.ср} - t_{хз}} =$$

10. Максимальный расход теплоты на горячее водоснабжение  $Q_{гв}^{max}$ , МВт:

для максимально-зимнего режима и режима наиболее холодного месяца

$$Q_{гв}^{max} = K_{ч} Q_{гв}^{ср} =$$

для летнего режима

$$Q_{гв}^{max} = K_{ч} Q_{гв}^{ср.л} =$$

11. Технологическое теплopotребление  $Q_{тех}$ , МВт:

для всех трех режимов

$$Q_{тех} = 0,278 D_{тех} (i_2'' - i_1') K_{в} \cdot 10^{-3} =$$

12. Общее теплopotребление на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение  $Q$ , МВт:

для максимально-зимнего режима

$$Q^p = Q_o^{пж} + Q_o^{по} + Q_b^p + Q_{об}^{пп} + Q_{гв}^{max} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$Q = Q_o^{ж} + Q_o^o + Q_b^п + Q_{об}^п + Q_{гв}^{max} =$$

для летнего режима

$$Q^л = Q_{гв}^{max} =$$

13. Температура сетевой воды после водонагревателей горячего водоснабжения жилмассива  $\tau_{2гв}$  °С:

для максимально-зимнего режима

$$\frac{\tau_1^p - \tau_{2гв}^p - 50}{\ln \frac{\tau_1^p - 55}{\tau_{2гв}^p - 5}} = 3,1 \sqrt{\tau_1^p - \tau_{2гв}^p} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$\frac{\tau_1 - \tau_{2гв} - 50}{\ln \frac{\tau_1 - 55}{\tau_{2гв} - 5}} = 3,1 \sqrt{\tau_1 - \tau_{2гв}} =$$

для летнего режима

$$\tau_{2гв}^л = 30.$$

14. Расход сетевой воды на отопление жилых зданий

$G_o^{\text{ж}}$ , т/ч:

для максимально-зимнего режима

$$G_o^{\text{ж}} = \frac{3,6Q_o^{\text{пж}} \cdot 10^3}{c(\tau_1^{\text{п}} - \tau_{2o}^{\text{п}})} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$G_o^{\text{ж}} = \frac{3,6Q_o^{\text{ж}} \cdot 10^3}{c(\tau_1 - \tau_{2o})} =$$

15. Расход сетевой воды на отопление общественных зданий  $G_o^{\circ}$ , т/ч:

для максимально-зимнего режима

$$G_o^{\text{по}} = \frac{3,6Q_o^{\text{по}} \cdot 10^3}{c(\tau_1^{\text{п}} - \tau_{2o}^{\text{п}})} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$G_o^{\circ} = \frac{3,6Q_o^{\circ} \cdot 10^3}{c(\tau_1 - \tau_{2o})} =$$

16. Расход сетевой воды на вентиляцию общественных зданий  $G_o^{\text{в}}$ , т/ч:

для максимально-зимнего режима

$$G_o^{\text{по}} = \frac{3,6Q_o^{\text{п}} \cdot 10^3}{c(\tau_1^{\text{п}} - \tau_{2o}^{\text{п}})} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$G_o^{\circ} = \frac{3,6Q_o^{\text{в}} \cdot 10^3}{c(\tau_1 - \tau_{2o})} =$$

17. Расход сетевой воды на отопление и вентиляцию промышленных зданий  $G_{\text{ов}}^{\text{п}}$ , т/ч:

для максимально-зимнего режима

$$G_{\text{ов}}^{\text{пп}} = \frac{3,6Q_{\text{ов}}^{\text{пп}} \cdot 10^3}{c(\tau_1^{\text{п}} - \tau_{2o}^{\text{п}})} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$G_{\text{ов}} = \frac{3,6Q_{\text{ов}}^{\text{п}} \cdot 10^3}{c(\tau_1 - \tau_{2o})} =$$

18. Расход сетевой воды на горячее водоснабжение жилых зданий  $G_{\text{гв}}^{\text{сп}}$ , т/ч:

для максимально-зимнего режима

$$G_{\text{гв}}^{\text{п}} = \frac{3,6Q_{\text{гв}}^{\text{max}} \cdot 10^3}{c(\tau_1^{\text{п}} - \tau_{2\text{гв}}^{\text{п}})} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$G_{\text{гв}} = \frac{3,6Q_{\text{гв}}^{\text{max}} \cdot 10^3}{c(\tau_1 - \tau_{2\text{гв}})} =$$

для летнего режима

$$G_{\text{гв}}^{\text{л}} = \frac{3,6Q_{\text{гв}}^{\text{max}} \cdot 10^3}{c(100 - 30)} =$$

19. Общий расход сетевой воды  $G$ , т/ч:

для максимально-зимнего режима

$$G^{\text{п}} = G_o^{\text{пж}} + G_o^{\text{по}} + G_o^{\text{по}} + G_{\text{ов}}^{\text{пп}} + Q_{\text{гв}}^{\text{п}} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$G = G_o^{\text{ж}} + G_o^{\circ} + G_o^{\circ} + G_{\text{ов}}^{\text{п}} + Q_{\text{гв}} =$$

для летнего режима

$$G^{\text{л}} = G_{\text{гв}} =$$

20. Температура сетевой воды на входе в котельную  $\tau_2, ^\circ\text{C}$ :

для максимально-зимнего режима

$$\tau_2^{\text{п}} = \tau_1^{\text{п}} - \frac{3,6Q^{\text{п}} \cdot 10^3}{G_{\text{п}} \cdot c} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$\tau_2 = \tau_1 - \frac{3,6Q \cdot 10^3}{G \cdot c} =$$

для летнего режима

$$\tau_2^{\text{л}} = 30.$$

21. Объём сетевой воды в системе теплоснабжения  $G_{\text{сист}}, \text{т/ч}$ :

для максимально-зимнего режима

$$G_{\text{сист}}^{\text{п}} = q_{\text{сист}} Q^{\text{п}} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$G_{\text{сист}} = q_{\text{сист}} Q =$$

для летнего режима

$$G_{\text{сист}}^{\text{л}} = q_{\text{сист}} Q^{\text{л}} =$$

22. Расход подпиточной воды на восполнение утечек в теплосистеме  $G_{\text{ут}}, \text{т/ч}$ :

для максимально-зимнего режима

$$G_{\text{ут}}^{\text{п}} = \frac{0,75}{100} Q_{\text{сист}}^{\text{п}} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$G_{\text{ут}} = \frac{0,75}{100} Q_{\text{сист}} =$$

для летнего режима

$$G_{\text{ут}}^{\text{л}} = \frac{0,75}{100} Q_{\text{сист}}^{\text{л}} =$$

23. Количество обратной сетевой воды  $G_{\text{обр}}, \text{т/ч}$ :

для максимально-зимнего режима

$$G_{\text{обр}} = G^{\text{п}} - G_{\text{ут}}^{\text{п}} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$G_{\text{обр}} = G - G_{\text{ут}} =$$

для летнего режима

$$G_{\text{обр}}^{\text{л}} = G^{\text{л}} - G_{\text{ут}}^{\text{л}} =$$

24. Расход пара на подогрев сетевой воды  $D_6, \text{т/ч}$ :

для максимально-зимнего режима

$$D_6^{\text{п}} = \frac{3600 Q^{\text{п}} + G_{\text{ут}}^{\text{п}} c (\tau_1^{\text{п}} - t_{\text{д}})}{(i_2'' - ct_6) 0,98} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$D_6 = \frac{3600 Q + G_{\text{ут}} c (\tau_1 - t_{\text{д}})}{(i_2'' - ct_6) 0,98} =$$

для летнего режима

$$D_6^{\text{л}} = \frac{3600 Q^{\text{л}} + G_{\text{ут}}^{\text{л}} c (\tau_1 - t_{\text{д}})}{(i_2'' - ct_6) 0,98} =$$

25. Количество конденсата от подогревателя

сетевой воды  $G_6$ , т/ч:

для максимально-зимнего режима

$$G_6^p = D_6^p =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$G_6 = D_6 =$$

для летнего режима

$$G_6^l = D_6^l =$$

26. Паровая нагрузка на котельную без учёта собственных нужд  $D$ , т/ч:

для максимально-зимнего режима

$$D^p = D_{\text{тех}} + D_6^p + D_{\text{маз}} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$D = D_{\text{тех}} + D_6 + D_{\text{маз}} =$$

для летнего режима

$$D^l = D_{\text{тех}} + D_6^l + D_{\text{маз}} =$$

27. Количество конденсата, возвращаемого с производства  $G_{\text{тех}}$ , т/ч:

для всех режимов

$$G_{\text{тех}} = K_v \cdot D_{\text{тех}} =$$

28. Количество продувочной воды  $G_{\text{пр}}$ , т/ч:

для максимально-зимнего режима

$$G_{\text{пр}}^p = \frac{p}{100} D^p =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$G_{\text{пр}} = \frac{p}{100} D =$$

для летнего режима

$$G_{\text{пр}}^l = \frac{p}{100} D^l =$$

29. Количество пара на выходе из сепаратора непрерывной продувки  $D_{\text{пр}}$ , т/ч:

для максимально-зимнего режима

$$D_{\text{пр}}^p = G_{\text{пр}}^p \frac{i'_k - i'_3}{i''_3 - i'_3} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$D_{\text{пр}} = G_{\text{пр}} \frac{i'_k - i'_3}{i''_3 - i'_3} =$$

для летнего режима

$$D_{\text{пр}}^l = G_{\text{пр}}^l \frac{i'_k - i'_3}{i''_3 - i'_3} =$$

30. Количество продувочной воды на выходе из сепаратора непрерывной продувки  $D'_{\text{пр}}$ , т/ч:

для максимально-зимнего режима

$$D'_{\text{пр}}^p = G_{\text{пр}}^p - D_{\text{пр}}^p =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$D'_{\text{пр}} = G_{\text{пр}} - D_{\text{пр}} =$$

для летнего режима

$$D'_{\text{пр}} = G_{\text{пр}}^{\text{л}} - D_{\text{пр}}^{\text{л}} =$$

31. Внутрикотельные потери пара  $D_{\text{пот}}$ , т/ч  
для максимально-зимнего режима

$$D_{\text{пот}}^{\text{р}} = 0,002 D^{\text{р}} =$$

- для режима наиболее холодного месяца

$$D_{\text{пот}} = 0,002 D =$$

- для летнего режима

$$D_{\text{пот}}^{\text{л}} = 0,002 D^{\text{л}} =$$

32. Количество воды на выходе из деаэратора  $G_{\text{д}}$ , т/ч:

- для максимально-зимнего режима

$$G_{\text{д}}^{\text{р}} = D^{\text{р}} + G_{\text{пр}}^{\text{р}} + G_{\text{ут}}^{\text{р}} =$$

- для режима наиболее холодного месяца

$$G_{\text{д}} = D + G_{\text{пр}} + G_{\text{ут}} =$$

- для летнего режима

$$G_{\text{д}}^{\text{л}} = D^{\text{л}} + G_{\text{пр}}^{\text{л}} + G_{\text{ут}}^{\text{л}} =$$

33. Выпар из деаэратора  $D_{\text{вып}}$ , т/ч:

- для максимально-зимнего режима

$$D_{\text{вып}}^{\text{р}} = 0,002 G_{\text{д}}^{\text{р}} =$$

- для режима наиболее холодного месяца

$$D_{\text{вып}} = 0,002 G_{\text{д}} =$$

- для летнего режима

$$D_{\text{вып}}^{\text{л}} = 0,002 G_{\text{д}}^{\text{л}} =$$

34. Количество умягчённой воды, поступающей в деаэратор,  $G_{\text{хво}}$ , т/ч:

- для максимально-зимнего режима

$$G_{\text{хво}}^{\text{р}} = (D_{\text{тех}} - G_{\text{тех}}) + G'_{\text{пр}} + D_{\text{пот}}^{\text{р}} + D_{\text{вып}}^{\text{р}} + G_{\text{ут}}^{\text{р}} + D_{\text{маз}} =$$

- для режима наиболее холодного месяца

$$G_{\text{хво}} = (D_{\text{тех}} - G_{\text{тех}}) + G'_{\text{пр}} + D_{\text{пот}} + D_{\text{вып}} + G_{\text{ут}} + D_{\text{маз}} =$$

- для летнего режима

$$G_{\text{хво}}^{\text{л}} = (D_{\text{тех}} - G_{\text{тех}}) + G'_{\text{пр}} + D_{\text{пот}}^{\text{л}} + D_{\text{вып}}^{\text{л}} + G_{\text{ут}}^{\text{л}} + D_{\text{маз}} =$$

35. Количество сырой воды, поступающей на химводоочистку,  $G_{\text{св}}$ , т/ч:

- для максимально-зимнего режима

$$G_{\text{св}}^{\text{р}} = 1,2 G_{\text{хво}}^{\text{р}} =$$

- для режима наиболее холодного месяца

$$G_{\text{св}} = 1,2 G_{\text{хво}} =$$

- для летнего режима

$$G_{\text{св}}^{\text{л}} = 1,2 G_{\text{хво}}^{\text{л}} =$$

36. Расход пара для подогрева сырой воды  $D_{\text{с}}$ , т/ч:

- для максимально-зимнего режима

$$D_{\text{с}}^{\text{р}} = \frac{G_{\text{св}}^{\text{р}} (t_{\text{х}} - t_{\text{хз}}) c}{0,98 (i_2'' - i_2')} =$$

- для режима наиболее холодного месяца

$$D_{\text{с}} = \frac{G_{\text{св}} (t_{\text{х}} - t_{\text{хз}}) c}{0,98 (i_2'' - i_2')} =$$

для летнего режима

$$D_c^{\text{л}} = \frac{G_{\text{св}}^{\text{л}} (t_x - t_{\text{хл}}) c}{0,98(i_2'' - i_2')} =$$

37. Количество конденсата от подогревателей сырой воды  $G_c$ , т/ч:

для максимально-зимнего режима

$$G_c^{\text{п}} = D_c^{\text{п}} =$$

для режима наиболее холодного месяца

$$G_c = D_c =$$

для летнего режима

$$G_c^{\text{л}} = D_c^{\text{л}} =$$

38. Суммарный поток воды, поступающей в деаэратор,  $G_{\Sigma}$ , т/ч:

для всех режимов

$$G_{\Sigma} = G_{\text{б}} + G_{\text{тех}} + G_{\text{хво}} + G_c + D_{\text{пр}} - D_{\text{вып}} =$$

39. Температура умягчённой воды на выходе из охладителя продувочной воды  $t_5$ , °C:

для всех режимов

$$t_5 = \frac{G'_{\text{пр}} (i_3'' - c t_{\text{пр}})}{G_{\text{хво}} \cdot c} + t_x =$$

40. Температура умягчённой воды, поступающей в деаэратор из охладителя выпара,  $t_6$ , °C

для всех режимов

$$t_6 = \frac{G_{\text{вып}} (i_4'' - i_4')}{G_{\text{хво}} \cdot c} + t_5 =$$

41. Средняя температура воды, поступающей в деаэратор,  $t_{\text{ср}}^{\text{л}}$ , °C:

для всех режимов

$$t_{\text{ср}}^{\text{л}} = \frac{G_{\text{б}} t_6 + G_{\text{тех}} t_{\text{кп}} + G_{\text{хво}} t_6 + G_c t_2 + D_{\text{пр}} t_3 - D_{\text{вып}} t_{\text{д}}}{G_{\Sigma}} =$$

42. Расход пара на деаэратор,  $D_{\text{д}}$  т/ч:

для всех режимов

$$D_{\text{д}} = G_{\text{д}} \frac{i_{\text{д}}' - c t_{\text{ср}}^{\text{л}}}{0,98(i_2'' - i_{\text{д}}')} =$$

43. Паровая нагрузка на котельную  $D'$ , т/ч:

для всех режимов

$$D' = D + D_{\text{д}} + D_c =$$

44. Внутрикотельные потери пара  $D'_{\text{пот}}$ , т/ч:

для всех режимов

$$D'_{\text{пот}} = D' \frac{0,02}{1 - 0,02} =$$

45. Суммарная паровая нагрузка на теплогенераторы  $D_{\text{сум}}$ , т/ч:

для всех режимов

$$D_{\text{сум}} = D' + D'_{\text{пот}} =$$

46. Количество продувочной воды, поступающей в сепаратор непрерывной продувки,  $G_{\text{пр}}$ , т/ч:

для всех режимов

$$G_{\text{пр}} = \frac{p}{100} D_{\text{сум}} =$$



47. Количество пара на выходе из сепаратора  $D'_{np}$ , т/ч:

для всех режимов

$$D'_{np} = \frac{i'_k - i'_3}{i''_3 - i'_3} G_{np} =$$

48. Количество продувочной воды на выходе из сепаратора непрерывной продувки  $G'_{np}$ , т/ч:

для всех режимов

$$G'_{np} = G_{np} - D'_{np} =$$

49. Количество воды на питание теплогенераторов  $G_{пит}$ , т/ч:

для всех режимов

$$G_{пит} = D_{сум} + G_{np} =$$

50. Количество воды на выходе из деаэратора  $G_d$ , т/ч:

для всех режимов

$$G_d = G_{пит} + G_{yt} =$$

51. Выпар из деаэратора  $D_{вып}$ , т/ч:

для всех режимов

$$D_{вып} = 0,002 G_d =$$

52. Количество умягчённой воды, поступающей в деаэратор,  $G_{хво}$ , т/ч:

для всех режимов

$$G_{хво} = (D_{тех} - G_{тех}) + G'_{np} + D'_{пот} + D_{вып} + G_{yt} + D_{маз} =$$

53. Количество сырой воды, поступающей на химводоочистку,  $G_{св}$ , т/ч:

для всех режимов

$$G_{св} = 1,2 G_{хво} =$$

54. Расход пара для подгрева сырой воды  $D_c$ , т/ч:

для всех режимов

$$D_c = G_{св} \frac{(t_x - t_{xz})c}{0,98(i''_2 - i'_2)} =$$

55. Количество конденсата от подогревателей сырой воды  $G_c$ , т/ч:

для всех режимов

$$G_c = D_c =$$

56. Суммарный поток, поступающий в деаэратор (кроме греющего пара),  $G_\Sigma$ , т/ч:

для всех режимов

$$G_\Sigma = G_6 + G_{тех} + G_{хво} + G_c + D_{np} - D_{вып} =$$

57. Доля обработанной воды в питательной  $\alpha_{ов}$ :

для всех режимов

$$\alpha_{ов} = 1 - \frac{G_6 + G_{тех}}{G_{пит}} =$$

58. Температура умягчённой воды на выходе из охладителя продувочной воды  $t_5$ , °С:

для всех режимов

$$t_5 = t_x + \frac{G_{np}}{G_{хво}} \left( \frac{i'_3}{c} - t_{np} \right) =$$

59. Температура умягчённой воды, поступающей в деаэратор из охладителя выпара,  $t_6$ , °С:

для всех режимов

$$t_6 = t_5 + \frac{G_{вып}}{G_{хво}} \left( \frac{i''_4 - i'_4}{c} \right) =$$

60. Средняя температура воды, поступающей в деаэратор,  $t_{\text{ср}}^{\text{д}}$ , °C:

для всех режимов

$$t_{\text{ср}}^{\text{д}} = \frac{G_6 t_6 + G_{\text{тех}} t_{\text{кп}} + G_{\text{хво}} t_6 + G_{\text{с}} t_2 + D_{\text{пр}} t_3 - D_{\text{вып}} t_{\text{д}}}{G_{\Sigma}} =$$

61. Расход пара на деаэратор  $D_{\text{д}}$ , т/ч:

для всех режимов

$$D_{\text{д}} = G_{\text{д}} \frac{i'_{\text{д}} - c \cdot t_{\text{ср}}^{\text{д}}}{0,98(i_2'' - i'_{\text{д}})} =$$

62. Паровая нагрузка на котельную  $D'$ , т/ч:

для всех режимов

$$D' = D + D_{\text{д}} + D_{\text{с}} =$$

63. Внутрикотельные потери пара  $D_{\text{пот}}$ , т/ч:

для всех режимов

$$D_{\text{пот}} = D' \frac{0,002}{1 - 0,002} =$$

64. Суммарная паровая нагрузка на котельную  $D_{\text{сум}}$ , т/ч:

для всех режимов

$$D_{\text{сум}} = D' + D_{\text{пот}} =$$

65. Тип и паропроизводительность котла  $D_{\text{к}}$ , т/ч:

по заданию преподавателя

66. Количество работающих котлов  $n$ , шт.:

для всех режимов

$$n = \frac{D_{\text{сум}}}{D_{\text{к}}} =$$

По окончании расчета тепловой схемы производим расчет количества котлов, устанавливаемых в котельной. В соответствии с требованиями СНиП количество установленных в котельной котлов должно обеспечить:

1) максимальную потребность в теплоте (первый режим);

2) в случае отказа одного из работающих котлов (при установке котлов с разной производительностью – при отказе котла с максимальной производительностью) оставшиеся котлы (второй режим).

Таким образом, количество устанавливаемых котлов должно выбираться по первому режиму с округлением в большую сторону, а если во втором режиме (при округлении в большую сторону) требуется такое же количество котлов, как в первом режиме, то следует устанавливать на один котел больше.

### 3. ВОДОПОДГОТОВКА

#### 3.1. Физико-химические свойства воды

Для водоснабжения котельных используется природная(сырая) вода.

Источниками сырой воды являются реки, озера, водоёмы, артезианские скважины и др. При работе котельных вода расходуется на восполнение потерь в виде пара и конденсата у промышленных потребителей, на собственные нужды котельной, на водоснабжение, отопление и вентиляцию жилых и промышленных зданий. Для восполнения потерь воды чаще всего вода подаётся из городского водопровода.

Перед использованием воды в котлах проводится её очистка. Как правило, в котельных имеется цех химводоочистки (ХВО). Вода для питания котла называется питательной и поступает она в котёл из деаэратора. Вода, которая находится в контуре котла, называется котловой.

При использовании в котельных установках природной воды необходимо

знать показатели качества воды. Состав воды сильно различается в зависимости от источника, из которого она забирается. В сырой воде всегда содержатся различные примеси. Часть этих примесей может быть растворена в воде, например поваренная соль, соли кальция и магния. В воде также могут находиться растворённые газы (кислород, уголекислота, сероводород и др.). Имеются в воде и взвешенные частицы песка, глины, продукты распада растительных и животных организмов.

Присутствие в воде примесей вызывает при нагревании и кипении появление на поверхностях нагрева слоя накипи, плохо проводящей теплоту, что приводит к перерасходу топлива. Покрытая накипью труба недостаточно охлаждается и могут случаться прогары трубы и её разрушение.

Качество воды характеризуется наличием и концентрацией в ней примесей. Среди ряда показателей качества воды важнейшими являются:

- 1) общая жёсткость,  $J_0$ ;
- 2) общая щёлочность,  $Щ_0$ ;
- 3) наличие коррозионных газов ( $O_2$  и  $CO_2$ );
- 4) содержание в воде кремниевой кислоты;
- 5) сухой остаток.

Общая жёсткость воды складывается из карбонатной и некарбонатной жёсткостей:

$$J_0 = J_k + J_{нк}.$$

Карбонатная временная жёсткость определяется наличием в воде бикарбонатов (двууглекислых) солей кальция и магния. Бикарбонаты при нагревании распадаются и выпадают в виде рыхлого илистого осадка-шлама, при этом выделяется уголекислота  $CO_2$ .

Некарбонатная жёсткость обусловлена наличием в воде сульфатов (сернокислых солей) кальция и магния. Сульфаты при кипении образуют накипь на внутренних поверхностях теплообмена, которая очень трудно удаляется.

Общая щёлочность воды определяется суммарной концентрацией карбонатных, бикарбонатных, гидроксильных, фосфатных и других анионов слабых кислот в миллимолях на килограмм.

Различают гидратную, карбонатную и бикарбонатную щёлочность, которые составляют общую щёлочность:

$$Щ_0 = Щ_г + Щ_к + Щ_б.$$

Гидратная обусловлена концентрацией в воде гидроксильных ионов  $OH^-$ , карбонатная – карбонатных ионов  $CO_3^{2-}$  и бикарбонатная – бикарбонатных ионов  $HCO_3^-$ .

**Особое значение имеет гидратная щёлочность, которая агрессивно действует на металл.**

Коррозионные газы содержатся в окружающей среде и при соприкосновении с водой могут в ней растворяться. Наиболее опасными являются растворённые в воде  $O_2$  и  $CO_2$ . Они являются причиной интенсивной коррозии металла барабанов, труб, коллекторов, ВЭ. Особенно они вредны при высоких температурах. Наличие этих газов в котловой воде недопустимо.

Кремниевые кислоты и соли представляют большую опасность для поверхностей нагрева. Жёсткость воды, обусловленная содержанием в ней кремнекислых солей, считается наиболее опасной.

Сухой остаток представляет собой общее количество растворённых в воде минеральных и органических веществ, которые остаются после испарения воды.

### 3.2. Очистка воды

**Существуют следующие системы подготовки воды:**

- механическая,
- химическая,
- термическая.

Механическая очистка производится в фильтрах через слой песка или гравия и в резервуарах-отстойниках. Такой способ очистки называется осветлением.

Химическая очистка служит для удаления из воды солей жёсткости, но легкорастворимые другие соли могут быть удалены только лишь частично. Удаление солей жёсткости называют умягчением воды.

Самый распространённый способ умягчения состоит в фильтровании воды через особые вещества-катиониты, где происходит замена одних растворённых в воде веществ на другие.

Таким образом можно довести жёсткость до 0,0035 – 0,0055 ммоль/кг, а общая жёсткость воды по правилам технической эксплуатации (ПТЭ) должна быть не более 0,005 ммоль/кг при давлении пара от 40 до 100 ат и не более 0,0025 ммоль/кг для котлов с давлением выше 100 ат.

Другим способом умягчения воды является фосфатирование.

### 3.3. Продувка паровых котлов

При кипении воды в котле постепенно увеличивается содержание солей, что может привести к вспениванию воды в барабане и вынос солей вместе с паром.

Чтобы не допускать чрезмерного накопления солей, часть воды с повышенным солесодержанием непрерывно удаляют из верхнего барабана. Этот процесс называется непрерывной продувкой. При этой продувке удаляется с солями и накопившийся шлам. В процессе непрерывной продувки удаляется от 1 до 5% котловой воды.

Существует и периодическая продувка для удаления шлама из нижних барабанов или коллекторов. Её производят два-три раза за смену.

### 3.4. Деаэрация воды – термическая обработка

Деаэрация – важная задача водоподготовки. При деаэрации вода освобождается от растворённых в ней газов, в первую очередь от кислорода и углекислоты, которые активно разрушают металлические элементы котла. Вообще очищенная от газов вода может насыщаться кислородом из воздуха. Поэтому вся система подачи воды должна быть герметичной.

Деаэрацию проводят в деаэраторах различных типов. Существуют деаэраторы:

- атмосферного типа с давлением  $P = 1,2$  ат и  $t = 104^{\circ}\text{C}$ ,
- повышенного давления  $P = 3-6$  ат и  $t = 130-160^{\circ}\text{C}$ ,
- вакуумные  $P = 0,75-0,5$  ат и  $t = 60-85^{\circ}\text{C}$ .

Отметим, что деаэрации подвергается не только добавочная вода, но и вернувшийся от потребителей конденсат.

### 3.5. Выбор системы обработки воды

Схему водоподготовки выбирают на основе норм питательной и котловой воды в зависимости от состава исходной воды. Качество питательной, котловой и исходной воды принимается по [7].

Для подготовки воды в паровых котельных рекомендуются следующие схемы обработки:

- 1) натрий-катионирование – если эта схема допустима по продувке, концентрации углекислоты в паре, относительной щёлочности; для экранирования котлов, требующих глубокого умягчения, применяют двухступенчатое натрий-катионирование;
- 2) натрий-катионирование с дозировкой нитратов в обрабатываемую воду, снижающих щёлочность исходной воды;
- 3) водород-натрий-катионирование, когда необходимо снизить щёлочность, солесодержание и углекислоту в паре;
- 4) натрий-хлор-ионирование, когда требуется снизить щёлочность и концентрацию углекислоты в паре, а объём продувки не превышает нормы;

5) амоний-натрий-катионирование, когда требуется снизить щёлочность, солесодержание котловой воды и концентрацию углекислоты в паре.

Из всех схем обработки воды наиболее простым и дешевым способом является натрий-катионирование

1. Продувка по сухому остатку, %:

$$p = \frac{S_{\text{ов}} \cdot \alpha_{\text{ов}}}{S_{\text{кв}} - S_{\text{ов}} \cdot \alpha_{\text{ов}}} \cdot 100 =$$

где  $\alpha_{\text{ов}}$  - доля обработанной воды в питательной,

$$\alpha_{\text{ов}} = G_{\text{св}} / G_{\text{пит}};$$

$G_{\text{св}}$  - расход сырой воды, поступающей на ХВО, т/ч;

$G_{\text{пит}}$  - расход воды на питание котлов, т/ч;

$S_{\text{кв}}$  - сухой остаток котловой воды, принимается по нормам табл.3.1, мг/л;

$S_{\text{ов}}$  - сухой остаток обработанной воды (после ХВО), мг/л;

$$S_{\text{ов}} = S_{\text{Na}} = S_{\text{ив}} + 2,96Ж_{\text{Ca}} + 10,84Ж_{\text{Mg}} =$$

где  $S_{\text{Na}}$  - сухой остаток натрий-катионированной воды, мг/л;  $S_{\text{ив}}$  - сухой остаток исходной воды (по заданию), мг/л;  $Ж_{\text{Ca}}$  - кальциевая жёсткость воды, ммоль/л;  $Ж_{\text{Mg}}$  - магниевая жёсткость исходной воды, ммоль/л.

Пересчёт анализов воды (содержание катионов в миллиграммах на литр) на содержание вещества (в миллимолях на литр) ведётся по формуле

$$Ж = C / Э,$$

где  $C$  - концентрация катионов в воде, мг/л (по заданию);  $Э$  - эквивалентная масса, которая получается делением молекулярной массы вещества на его валентность в данной реакции.

Например:

$$Ж_{\text{Ca}} = Ca^{2+} / Э_{\text{Ca}} =$$

$$Ж_{\text{Mg}} = Mg^{2+} / Э_{\text{Mg}} =$$

где  $Э_{\text{Ca}} = 20,04$  и  $Э_{\text{Mg}} = 12,16$  – эквиваленты массы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ .

2. Относительная щёлочность котловой воды равна относительной щёлочности обработанной воды:

$$\Pi_{\text{от}}^{\text{кв}} = \Pi_{\text{от}}^{\text{ов}} = 40 \cdot \Pi_{\text{ов}} \cdot 100 / S_{\text{ов}} =$$

где  $\Pi_{\text{ов}}$  - щёлочность обработанной воды, ммоль/л; 40 – эквивалент NaOH.

При Na-катионировании щёлочность исходной воды  $\Pi_{\text{ив}}$  не изменяется, поэтому щёлочность обработанной воды может быть приравнена карбонатной жёсткости исходной воды, т.е.  $\Pi_{\text{ов}} = Ж_{\text{к}}$ .

Таблица 3.1

Расчётный сухой остаток котловой (продувочной) воды котлов типа ДКВр

Тип сепарационного устройства	Сухой остаток $S_{\text{кв}}$ , мг/кг
Внутрибарабанные сепарационные устройств	6000

3. Концентрация углекислоты в паре при деаэрации питательной воды с барботажем, мг/кг:

$$CO_2 = 22 \Pi_{\text{ов}} \alpha_{\text{ов}} (\sigma_1 + \sigma) =$$

где  $\sigma_1$  – доля разложения  $NaHCO_3$  в парогенераторе, равная примерно 0,4;  $\sigma$  – доля разложения  $Na_2CO_3$  в парогенераторе, принимаемая в зависимости от рабочего давления по графику рис.4[7].

Для котлов с избыточным давлением  $P_{\text{и}} = 13$  ат  $\sigma = 0,7$ .

Расчётный размер продувки парогенератора  $p$  давлением, меньшим или равным 1,4 МПа, не должна превышать 10%, для парогенераторов давлением 2,0 МПа - 7%, и парогенераторов давлением до 4,0 МПа - 5%.

Согласно правилам Ростехнадзора относительная щёлочность котловой воды не должна быть выше 20%. Содержание угольной кислоты в паре при разветвлённой сети потребителей должно быть не выше 20 мг/кг.

Таким образом, применять Na-катионирование можно при условии

$$p \leq 10\%; \text{Щ}_{\text{о}}^{\text{кв}} \leq 20\%; \text{CO}_2 \leq 20\%.$$

Если эти параметры превышают допустимые при Na-катионировании, необходимо выбирать другой способ очистки или применять коррекционные способы обработки воды.

### 3.6. Коррекционные методы обработки воды

а) Нитратирование

б) Амминирование

### 3.7. Расчёт натрий-катионитных фильтров

Исходные данные:

- река, водоём, место и дата отбора пробы воды (по заданию);
- состав исходной природной воды:  $S_{\text{ив}}$  – сухой остаток, мг/л;  $\text{Щ}_{\text{ив}}$  – щёлочность, ммоль/л;  $\text{Ж}_{\text{к}}$  – жёсткость карбонатная, ммоль/л;  $\text{Ж}_{\text{о}}$  – жёсткость общая, ммоль/л; содержание катионов и анионов, мг/л;
- $G_{\text{св}}$  – расход сырой воды на водоподготовку, м³/ч;
- $G_{\text{пит}}$  – расход питательной воды, м³/ч;
- $S_{\text{кв}}$  – сухой остаток котловой воды, мг/л (см. табл.3.1);
- $S_{\text{ов}}$  – сухой остаток обработанной воды, мг/л;
- $\text{Ж}_{\text{ост}}^{\text{I}} = 0,05$  ммоль/л – остаточная жёсткость после фильтров I ступени;
- $\text{Ж}_{\text{ост}}^{\text{II}} = 0,01$  ммоль/л – остаточная жёсткость после фильтров II ступени.

### 3.8. Расчёт фильтров I ступени

1. Расчёт катионитных фильтров начинают с подбора диаметра фильтров по скорости фильтрования. Различают нормальную скорость  $\omega_{\text{н}}$  – это скорость фильтрования при подключении всех рабочих фильтров и максимальную  $\omega_{\text{м}}$  – при отключении одного фильтра на регенерацию. Сначала по рекомендации [7, табл.3.2] принимаем скорости фильтрования и определяем площадь фильтрования  $f$  из соотношений:

а) по нормальной скорости:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{G_{\text{св}}}{f \cdot a} =$$

где  $\omega_{\text{н}}$  – нормальная скорость фильтрования, принимаемая в зависимости от общей жесткости, м³/ч;  $G_{\text{св}}$  – производительность водоподготовки по расходу сырой воды, м³/ч;  $f$  – площадь фильтрования, м²;  $a$  – количество работающих фильтров (для I ступени примем  $a = 2$ );

б) по максимальной скорости:

$$\omega_{\text{м}} = \frac{G_{\text{св}}}{f \cdot (a - 1)} =$$

После определения площади фильтрования, подбираем по табл.3.3 диаметр фильтра  $d$  и для выбранного фильтра делаем уточнение скорости фильтрования.

2. Количество солей жёсткости, удаляемое на фильтрах I ступени, ммоль/сут:

$$A = 24 G_{\text{св}} \text{Ж}_{\text{о}} =$$

где  $J_0 = J_{\text{ив}} - 0,05$  – количество солей жёсткости, оставленное на катионитном фильтре I ступени, ммоль/л;  $J_{\text{ив}}$  – общая жёсткость воды, поступающей на фильтры I ступени, ммоль/л.

3. Число регенераций каждого фильтра в сутки

$$n = \frac{A}{f \cdot H_{\text{сл}} \cdot E_p \cdot a} =$$

где  $H_{\text{сл}}$  – высота катионитного слоя, м (табл.3.2);  $E_p$  – рабочая обменная способность катионита для I ступени моль/м<sup>3</sup>

$$E_p = \alpha_3 \beta_{\text{Na}} E_{\text{п}} - 0,5 q_{\text{от}} J_0 =$$

где  $\alpha_3 =$  – коэффициент эффективности регенерации, учитывающий неполноту регенерации катионита в зависимости от удельного расхода соли на регенерацию  $q_c$ , определяется по табл.3.4;  $\beta_{\text{Na}} =$  – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита по  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  за счёт частичного задержания катионов  $\text{Na}^+$ , где значения  $\beta_{\text{Na}}$  приведены в зависимости

от соотношения  $C_{\text{Na}}^2 / J_0 =$  (табл.3.5);  $C_{\text{Na}} = \frac{\text{Na}^+}{23} =$  – концентрация натрия

в умягчаемой воде, ммоль/л;  $\text{Na}^+$  – содержание катионов натрия в исходной воде, мг/л;  $E_{\text{п}}$  – полная обменная способность катионита, которая в зависимости от крупности зёрен сульфогля принимается равной 250-275 моль/м<sup>3</sup>;  $q_{\text{от}} =$  – удельный расход воды на отмывку катионита, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> (см. табл. 3.2); 0,5 – доля умягчения отмывочной воды. При расчёте II ступени принять  $E_p = 150$  моль/м<sup>3</sup>.

4. Расход 100 %-й поваренной соли на одну регенерацию фильтра, кг:

$$G_c = \frac{E_p \cdot f \cdot H_{\text{сл}} \cdot q_c}{1000} =$$

где  $q_c$  – удельный расход соли на регенерацию катионита, г/моль (см. табл.3.2).

5. Суточный расход технической соли на регенерацию, кг/сут:

$$G_{\text{тс}} = \frac{G_c \cdot n \cdot a \cdot 100}{93} =$$

где  $G_c$  – расход поваренной соли на одну регенерацию, кг;  $n$  – число регенераций в сутки;  $a$  – число фильтров I ступени; 93 – содержание NaCl в технической соли, %.

6. Расход воды на одну регенерацию фильтра складывается:

а) из расхода воды на взрыхляющую промывку фильтра, м<sup>3</sup>:

$$G_{\text{взр}} = \frac{i \cdot f \cdot 60 \cdot t_{\text{взр}}}{1000} =$$

где  $i$  – интенсивность взрыхляющей промывки, л/(м<sup>2</sup>·с);  $t_{\text{взр}}$  – продолжительность взрыхляющей промывки, мин (см. табл.3.2);

б) расхода воды на приготовление регенерационного раствора, м<sup>3</sup>:

$$G_{\text{рр}} = \frac{G_c \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{\text{рр}}} =$$

где  $b$  – концентрация регенерационного раствора, % (см. табл.3.2);  $\rho_{\text{рр}}$  – плотность регенерационного раствора, т/м<sup>3</sup>.

В расчёте принять: для I ступени –  $b = 8\%$ ,  $\rho_{\text{рр}} = 1,06$  т/м<sup>3</sup>, для II ступени –  $b = 12\%$ ,  $\rho_{\text{рр}} = 1,086$  т/м<sup>3</sup>;

в) расхода воды на отмывку катионита от продуктов регенерации, м<sup>3</sup>:

$$G_{\text{от}} = q_{\text{от}} f H_{\text{сл}} =$$

где  $q_{\text{от}}$  – удельный расход воды на отмывку, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> (см. табл.3.2);

г) расхода воды на одну регенерацию без использования отмывочной воды на

взрыхление (собственные нужды), м³:

$$G_{\text{сн}} = G_{\text{взр}} + G_{\text{пп}} + G_{\text{от}} =$$

При использовании отмывочной воды на взрыхляющую промывку расход воды на одну регенерацию, м³:

$$G'_{\text{сн}} = G_{\text{пп}} + G_{\text{от}} =$$

7. Среднечасовой расход воды на собственные нужды, м³/ч:

$$G_{\text{сн}}^{\text{ч}} = \frac{G_{\text{сн}} \cdot a \cdot n}{24} =$$

8. Межрегенерационный период работы каждого фильтра, ч:

$$T_{\text{На}} = \frac{24}{n} - t_{\text{рег}} =$$

где  $n$  – количество регенераций каждого фильтра в сутки;  
 $t_{\text{рег}}$  – время регенерации фильтра, мин;

$$t_{\text{рег}} = t_{\text{взр}} + t_{\text{пп}} + t_{\text{от}} =$$

Здесь  $t_{\text{взр}}$  – время взрыхляющей промывки, мин;  $t_{\text{пп}}$  – время пропуска регенерационного раствора через фильтр, мин;

$$t_{\text{пп}} = \frac{G_{\text{пп}} \cdot 60}{\omega_{\text{пп}} \cdot f} =$$

Здесь  $G_{\text{пп}}$  – количество регенерационного раствора, м³;  $\omega_{\text{пп}}$  – скорость отмывки, м/ч (см. табл. 3.2);  $t_{\text{от}}$  – время отмывки фильтра от продуктов регенерации, мин;

$$t_{\text{от}} = \frac{G_{\text{от}} \cdot 60}{\omega_{\text{от}} \cdot f} =$$

9. Количество одновременно регенерирующих фильтров  $n_{\text{оп}} = \frac{n \cdot a \cdot t_{\text{рег}}}{24 \cdot 60} =$

Таблица 3.2  
Технологические данные для расчёта натрий-катионитных фильтров

Показатель	Фильтры I степени	Фильтры II степени
Высота слоя катионита $H_{\text{сл}}$ , м	2 – 2,5	1,5
Крупность зёрен катионита, мм	0,5 – 1,1	0,5 – 1,1
Скорость фильтрования нормальная, в скобках максимальная (при регенерации одного из фильтров), $\omega_{\text{н}}(\omega_{\text{м}})$ , м/ч при жёсткости, ммоль/кг:		
до 2,5		
до 5,0	25(35)	40(50)
до 7,5	15(25)	–
	10(20)	–
<b>Взрыхляющая промывка катионита</b> интенсивность $i$ , л/(м²·с)	4*	4
продолжительность $t_{\text{взр}}$ , мин	15	15



Удельный расход поваренной соли на регенерацию сульфогля, $q_c$ , г/моль		
при жёсткости воды, ммоль/кг:		
до 2,5	240 – 300	
до 5,0	240 – 400	600 – 800
до 7,5	340 – 500	
до 10,0	400 – 500	
Крепость регенерационного раствора $b$ , %	5 – 8	8 – 12
Скорость пропуска регенерационного раствора $\omega_{pp}$ , м/ч	3 – 4	3-5
Отмывка катионита от продуктов регенерации:		
скорость пропуска отмывочной воды через катионит $\omega_{от}$ , м/ч	6 – 8	6 – 8
удельный расход отмывочной воды $q_{от}$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	4	4
Общая длительность регенерации фильтра $T$ , ч	2	2

\* Интенсивность взрыхления 3 л/(м<sup>2</sup>·с) принимается при загрузке мелкого катионита с крупностью зёрен 0,3–0,8 мм.

Примечание. Скорости фильтрования менее 5 м/ч допускать не рекомендуется из-за возможного снижения обменной способности катионита.

Таблица 3.3

Параметры стандартных фильтров

, м <sup>2</sup>	0,39	0,76	1,71	3,15	5,20
	6,95	9,1			
, м	0,7	1,0	1,5	2,0	2,6
	3,0	3,4			

### 3.9. Расчёт фильтров II ступени

Расчёт проводится так же, как и для I ступени. Здесь высота слоя катионита  $H_{сл} = 1,5$  м, рабочая обменная способность катионита  $E_p = 150$  моль/м<sup>3</sup>.

1. Если для II ступени принять один фильтр той же конструкции, что и для I ступени, тогда  $\omega_n = \omega_m = G_{св}/f \cdot 1$ .

Таблица 3.4

Коэффициент эффективности регенерации катионита  $\alpha_3$ 

Удельный расход соли на регенерацию катионита $q_c$ , г/моль	20	24	28	32	36	40	44
	0	0	0	0	0	0	0
$\alpha_3$	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
	2	7	2	5	8	1	3

Удельный расход соли на регенерацию катионита $q_c$ , г/моль	460	500	540	580	620	660	700
$\alpha_3$	0,84	0,87	0,88	0,89	0,91	0,92	0,94

Далее надо сравнить скорость фильтрования с допустимыми по табл.3.2.

2. Количество солей жёсткости, удаляемых на фильтре II ступени, моль/сут:

$$A = 24 G_{\text{св}} \cdot Ж_0 =$$

3. Число регенераций каждого фильтра в сутки

$$n = \frac{A}{f \cdot H_{\text{сл}} \cdot E_p \cdot a} =$$

4. Расход 100 %-й поваренной соли на одну регенерацию фильтра, кг:

$$G_c = \frac{E_p \cdot f \cdot H_{\text{сл}} \cdot q_c}{1000} =$$

5. Суточный расход технической соли на регенерацию, кг/сут:

$$G_{\text{тс}} = \frac{G_c \cdot n \cdot a \cdot 100}{93} =$$

6. Расход воды на одну регенерацию фильтра складывается:

- а) из расхода воды на взрыхляющую промывку фильтра, м³:

$$G_{\text{взр}} = \frac{i \cdot f \cdot 60 \cdot t_{\text{взр}}}{1000} =$$

- б) расхода воды на приготовление регенерационного раствора, м³:

$$G_{\text{пп}} = \frac{G_c \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{\text{пп}}} =$$

- в) расхода воды на отмывку катионита от продуктов регенерации, м³:

$$G_{\text{от}} = q_{\text{от}} f H_{\text{сл}} =$$

- г) расхода воды на одну регенерацию без использования отмывочной воды на взрыхление (собственные нужды), м³:

$$G_{\text{сн}} = G_{\text{взр}} + G_{\text{пп}} + G_{\text{от}} =$$

При использовании отмывочной воды на взрыхляющую промывку расход воды на одну регенерацию, м³:

$$G'_{\text{сн}} = G_{\text{пп}} + G_{\text{от}} =$$

7. Среднечасовой расход воды на собственные нужды, м³/ч:

$$G_{\text{сн}}^{\text{ч}} = \frac{G_{\text{сн}} \cdot a \cdot n}{24} =$$

8. Межрегенерационный период работы каждого фильтра, ч:

$$T_{\text{На}} = \frac{24}{n} - t_{\text{пер}} =$$

$$t_{\text{пер}} = t_{\text{взр}} + t_{\text{пп}} + t_{\text{от}} =$$

$$t_{\text{пп}} = \frac{G_{\text{пп}} \cdot 60}{\omega_{\text{пп}} \cdot f} =$$

$$t_{\text{от}} = \frac{G_{\text{от}} \cdot 60}{\omega_{\text{от}} \cdot f} =$$

9. Количество одновременно регенерирующих фильтров  $n_{\text{оп}} = \frac{n \cdot a \cdot t_{\text{пер}}}{24 \cdot 60} =$

Таблица 3.5

Коэффициент снижения обменной способности катионита  $\beta_{Na}$ 

$C^2_{Na}/Ж_0$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,4
$\beta_{Na}$	0,92	0,89	0,87	0,85	0,83	0,8	0,73
$C^2_{Na}/Ж_0$	0,7	0,9	2	4	6	7	9
$\beta_{Na}$	0,68	0,66	0,62	0,57	0,53	0,52	0,51

#### 4. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

Работа котлоагрегата требует обеспечения непрерывной подачи воздуха, необходимого для горения топлива и отвода продуктов сгорания топлива.

В современных котельных установках применяют искусственную механическую тягу, создаваемую специальными вентиляторами (дымососами), способными преодолеть сопротивление газового тракта. Газовые тракты обычно работают под разрежением.

Подача воздуха в топку котла осуществляется дутьевыми вентиляторами. Весь воздушный тракт находится под давлением.

Целью аэродинамического расчёта является определение производительности тяговой и дутьевой систем и гидравлических потерь в газовом и воздушном трактах, по которым в итоге будут выбраны к установке дымососы и вентиляторы [8].

##### 4.1. Расчёт дымовой трубы

**Расчёт, как правило, начинают с дымовой трубы. В паровых котлах малой производительности (до 2,5 т/ч) обычно применяется естественная тяга. Это тяга, создаваемая дымовой трубой за счёт разности плотностей дымовых газов и окружающего воздуха.**

В котлах большей производительности тяга создаётся за счёт мощности дымососа и частично с помощью дымовой трубы.

Итогом расчёта является определение гидравлического сопротивления дымовой трубы и самотяги трубы.

##### Порядок расчёта

1. Для данного расчёта рекомендуется принять кирпичную трубу. Её высота принимается по рекомендации [8]:

$H = 30$  или  $45$  м для котлов с производительностью до  $10$  т/ч,

$H = 60$  для котлов с производительностью  $25$  т/ч.

2. Определим температуру дымовых газов на входе в дымосос:

$$\vartheta_{д.тр.} = \frac{\alpha_{yx} \cdot \vartheta_{yx} + \Delta\alpha \cdot t_{хв}}{\alpha_{yx} + \Delta\alpha} =$$

где  $\vartheta_{yx}$  – температура дымовых газов после ВЭ, °С;  $\alpha_{yx}$  – коэффициент расхода воздуха у дымовой трубы;  $\Delta\alpha$  – присос воздуха в газопроводе от ВЭ до дымовой трубы. Принять  $\Delta\alpha = 0,01$  на каждые  $10$  м дымохода.

3. Расход газов через дымовую трубу для случая одновременной работы всех котлов в котельной при их номинальной нагрузке, м³/ч:

$$V_{\text{д.тр.}} = B_p V_{\text{yx}} \frac{\vartheta_{\text{д.тр.}} + 273}{273} \cdot n =$$

где  $B_p$  – расчётный расход топлива на 1 котёл, м<sup>3</sup>/ч или кг/ч;  $V_{\text{yx}} = V_{\text{д.г.}} + \Delta \alpha V^0$  – объём дымовых газов на входе в дымовую трубу, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> или м<sup>3</sup>/кг;  $V^0$  – теоретический объём воздуха для горения, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> или м<sup>3</sup>/кг;  $V_{\text{д.г.}}$  – объём дымовых газов за ВЭ, (см. табл.3.3), м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> или м<sup>3</sup>/кг;  $n$  – число работающих котлов.

4. Скорость дымовых газов на выходе из дымовой трубы. Выбирается по условиям обеспечения рассеивания вредных примесей в дымовых газах. Для котлов малой и средней мощности скорость при искусственной тяге принимается  $\omega_{\text{вых}} = 8 - 15$  м/с.

5. Определим внутренний диаметр устья дымовой трубы, м:

$$d_{\text{д.тр.}} = 0,0188 \sqrt{\frac{V_{\text{д.тр.}}}{\omega_{\text{вых}}}} =$$

Далее округлим  $d_{\text{д.тр.}}$  до ближайшего типоразмера (1,2; 1,5; 1,8; 2,1; 4,3) и уточним скорость, м/с:

$$\omega_{\text{вых}} = \frac{4V_{\text{д.тр.}}}{3600 \cdot \pi \cdot d_{\text{д.тр.}}^2} =$$

6. Гидравлическое сопротивление дымовой трубы, Па:

$$\Delta P_{\text{д.тр.}} = \Delta P_{\text{тр.}} + \Delta P_{\text{вых.}} =$$

Сопротивление на трение для кирпичных труб, Па:

$$\Delta P_{\text{тр.}} = \frac{\lambda}{8i} \cdot \rho_{\text{г.}} \cdot \omega_{\text{вых.}}^2 =$$

где  $\lambda = 0,05$  – коэффициент гидравлического трения;  $i = 0,01$  – гидравлический уклон внутренней поверхности трубы;

$\rho_{\text{г.}} = 1,29 \frac{273}{273 + \vartheta_{\text{д.тр.}}}$  – плотность дымовых газов при температуре газов на входе в трубу, кг/м<sup>3</sup>.

Сопротивление на выходе из дымовой трубы, Па:

$$\Delta P_{\text{вых.}} = \zeta_{\text{вых.}} \frac{\rho_{\text{г.}} \cdot \omega_{\text{вых.}}^2}{2} =$$

где  $\zeta_{\text{вых.}} = 1,0$  – местный коэффициент гидравлического трения при выходе газов из трубы, Па.

7. Самотяга дымовой трубы, Па:

$$P_{\text{сам}} = Hg(\rho_{\text{в.}} - \rho_{\text{г.}}) =$$

где  $H$  – высота дымовой трубы, м;  $\rho_{\text{в.}}$  – плотность атмосферного воздуха около трубы, кг/м<sup>3</sup>, ( $\rho_{\text{в.}} = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>);  $\rho_{\text{г.}}$  – плотность газов на выходе из трубы, принимается равной 0,85 – 0,88 кг/м<sup>3</sup> при 120 – 150°C.

## 4.2. Расчёт газового тракта

**Расчёт потерь давления (гидравлических сопротивлений) в газовом и воздушном трактах ведётся со следующим упрощением. Принимаем, что плотность газов выбирается по плотности сухого воздуха. Такое допущение и позволяет упростить расчёт, применяя номограммы.**

$t, ^\circ\text{C}$	0	100	200	400	600	800	1000	1200
$\rho_{\text{в.}}, \text{кг/м}^3$	1,293	0,946	0,746	0,254	0,404	0,329	-	-
$\rho_{\text{г.}}, \text{кг/м}^3$	1,259	0,950	0,748	0,525	0,405	0,330	0,275	0,240

Расчёт ведётся на номинальную нагрузку для одного из котлов.

**Предварительно составляется эскиз газохода, куда входят все участки, ВЭ, золоуловитель, шибер, дымосос, дымовая труба (рис.4.1).**

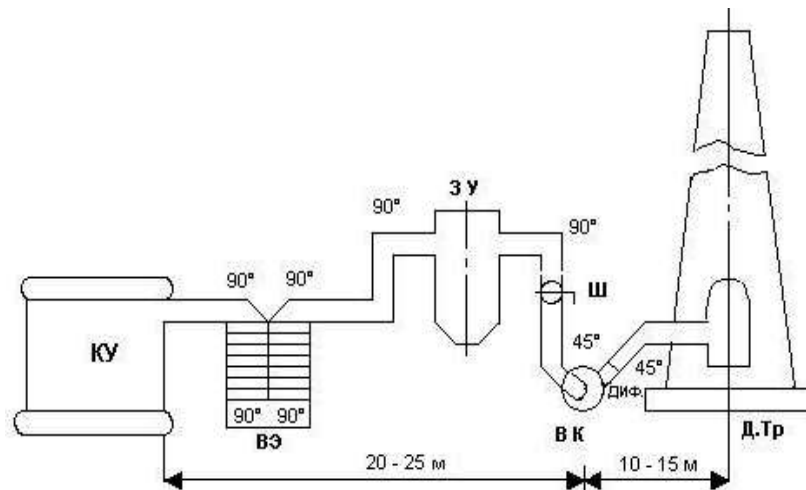


Рис.4.1. Схема газового тракта

Полное сопротивление газового тракта (от топки до выхода газов в дымовую трубу), Па:

$$\Delta P_{\text{г.тр}} = \Delta P_{\text{тгу}} + \Delta P_{\text{вэ}} + \Delta P_{\text{вп}} + \Delta P_{\text{зу}} + \Delta P_{\text{б}} + \Delta P_{\text{д.тр}} =$$

1.  $\Delta P_{\text{тгу}}$  – суммарное сопротивление теплогенератора; складывается из сопротивлений поперечно и продольно омываемых труб, сопротивлений поворотов и выхода газов. Обычно сопротивление не считается, а принимается по данным завода-изготовителя. (табл.4.1.).

2.  $\Delta P_{\text{вэ}}$  – сопротивление водяного экономайзера; считается как поперечно омываемые пучки труб, Па:

$$\Delta P_{\text{вэ}} = \zeta_{\text{вэ}} \frac{\rho_{\text{г}} \omega_{\text{г}}^2}{2} =$$

где  $\omega_{\text{вэ}}$  – скорость газов в экономайзере принимается из теплового расчёта, м/с;  $\zeta_{\text{вэ}} = 0,5 z_2$  – гидравлическое сопротивление одной трубы;  $z_2$  – число труб водяного экономайзера по ходу газов.

Таблица 4.1

Сопротивление серийных котлов, Па

Марка	$\Delta P_{\text{тгу}}$
ДКВр-4-14 (мазут)	265

3.  $\Delta P_{\text{вп}} =$  – сопротивление воздушного подогревателя, Па. Рассчитывается в зависимости от конструкции ВП или принимается по паспортным данным.

4.  $\Delta P_{\text{зу}} =$  – сопротивление золоуловителей. Обычно приводятся в паспортных данных завода изготовителя (табл 4.2).

Например, при объёме газов от 6000 до 20000 м<sup>3</sup>/ч рекомендуются циклонные блоки ЦКТИ или НИИГАЗ.

Таблица 4.2

Сопротивления золоуловителей

Тип	$\Delta P_{\text{зу}}, \text{Па}$	Тип	$\Delta P_{\text{зу}}, \text{Па}$
ЦКТИ	100	БЦУ	100
ЦН 24	75	«Энергия»	65,85
ЦМС – 27	45	БЦНР с ЗЛ	130
Д – 49	33	БЦ ЦКТИ	90
		БЦ с ЛА	

При объёме газов от 15000 до 150000 м<sup>3</sup>/ч рекомендуется принимать батарейные циклоны. Вообще золоуловители рекомендуется выбирать не только по производительности, но и по степени очистки.

5.  $\Delta P_{\text{б}} = \Delta P_{\text{д.тр}} + \Delta P_{\text{м}}$  – сопротивление газовых каналов (боровов), Па,

где  $\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2}$  – сопротивление на трение, Па;

$\Delta P_{\text{м}} = \Sigma \zeta \cdot \frac{\rho \omega^2}{2}$  – местные сопротивления (повороты, расширения, сужения, входы,

выходы, шиберы, заслонки и прочая арматура), Па;  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения, зависит от относительной шероховатости стенок канала и числа Рейнольдса;  $l$  – длина газохода или его отдельного участка, м;  $d$  – эквивалентный диаметр канала  $d = 4 \cdot f / U$ ;  $f$  – площадь живого сечения, м<sup>2</sup>;  $U$  – периметр сечения, м;  $\rho$  – плотность газов при данной температуре, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  – скорость газов на участке канала, м/с;  $\Delta P_{\text{д.тр}}$  – сопротивление дымовой трубы, определено в подразд. 4.1.

Последовательность расчёта

1. Определить секундный расход дымовых газов на один котёл, м<sup>3</sup>/с:

$$V_{\text{д}} = B_{\text{р}}(V_{\text{дг}} + \Delta \alpha V^{\circ}) \frac{\theta_{\text{д.тр}} + 273}{3600 - 273} =$$

Все параметры для расчёта принять из расчёта дымовой трубы.

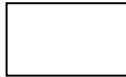
2. Определить сечение газохода, м<sup>2</sup>:

$$f = V_{\text{д}} / \omega =$$

Скорость газов в газоходе для ориентировочных расчётов можно принять:

$\omega = 8 - 12$  м/с для стальных газоходов;  $\omega = 4 - 6$  м/с для кирпичных боровов.

Для прямоугольного газохода необходимо определить стороны прямоугольника  $b$ ,  $h$  из соотношения



$b$

$$b = 1,2 \sqrt{f} =$$

$$h = f / b =$$

Далее округлить результаты до 0,05 м и уточнить скорость.

3. Определить полное сопротивление боровов, Па:

$$\Delta P_{\text{б}} = (\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \zeta) \frac{\rho \omega^2}{2} =$$

Для расчётов необходимо определить длину газопровода. Если площадь сечения газохода не меняется, то газоход следует разбивать на отдельные участки и длину определить согласно составленному эскизу.

При определении местных потерь потребуются коэффициенты местных сопротивлений. Некоторые из них:

Для поворота:

на 90°	$\zeta^{90} = 0,30,$	45°	$\zeta^{45} = 0,15,$
60°	$\zeta^{60} = 0,20,$	30°	$\zeta^{30} = 0,10;$

открытого шиберы  $\zeta_{\text{ш}} = 0,1;$

всасывающего кармана дымососа  $\zeta_{\text{вк}} = 0,2;$

диффузора за дымососом  $\zeta_{\text{диф}} = 0,2 - 0,25;$

входа в дымовую трубу  $\zeta_{\text{вх}} = 1,1.$

Для расчёта потерь на трение принять коэффициент гидравлического трения равным  $\lambda = 0,02$  для стальных боровов и  $\lambda = 0,03$  – для кирпичных.

4. Определить полное сопротивление газового тракта,  $\Delta P_{\text{г.тр}}$ , Па:

$$\Delta P_{г.тр} = \Delta P_{тгу} + \Delta P_{вз} + \Delta P_{вп} + \Delta P_{зг} + \Delta P_6 + \Delta P_{д.тр} =$$

5. Перепад полных давлений по газовому тракту, Па:

$$\Delta P_{п} = \Delta P'' + \Delta P_{тр} - \Delta P_{сам} =$$

где  $\Delta P''$  – разряжение на выходе из топки, необходимое для предотвращения выбивания газов. Обычно принимают

$\Delta P'' = 20 - 30$  Па;  $\Delta P_{сам}$  – самотяга дымовой трубы (определена ранее), Па.

После аэродинамического расчёта газового тракта необходимо выбрать дымосос. Он выбирается по расчётной подаче  $Q_{др}$  и создаваемому разряжению.

Расчётная подача дымососа, м<sup>3</sup>/с:

$$Q_d^p = \beta_1 V_d =$$

где  $\beta_1$  – коэффициент запаса, который выбирается равным 1,1 для котлов небольшой производительности

Мощность двигателя для привода дымососа, кВт:

$$N_d^p = \frac{\beta_2 \cdot Q_d^p \cdot H_d}{\eta_d^p \cdot 100} =$$

где  $\beta_2$  – коэффициент запаса мощности;  $Q_d^p$  – расчётная подача дымососа, м<sup>3</sup>/с;  $H_d$  – расчётный полный напор дымососа, кПа;

$\eta_d^p$  – эксплуатационный КПД дымососа, %.

#### 4.3. Расчёт воздушного тракта

Расчёт воздушного тракта, как и газового, ведётся на номинальную нагрузку котла. Воздуховоды обычно выполняются стальными квадратами, прямоугольными и круглыми. Для нашего расчёта выберем стальной воздухопровод квадратного сечения.

Перед расчётом составим эскиз воздушного тракта (рис.4.2). Для котельных установок, работающих на холодном воздухе, тракт включает только воздухопроводы и дуть-

евую установку.

Температура холодного воздуха, засасываемого вентилятором из котельной, принимается обычно в соответствии с нормативным методом теплового расчёта равной 30°C. Плотность воздуха при этой температуре  $\rho_{хв} = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>.

Расчёт сопротивления воздухопроводов сводится в основном к определению местных сопротивлений. Сопротивление трения при скоростях воздуха менее 10 м/с очень малы и их в расчётах не учитывают.

Последовательность расчёта:

1. Определить количество холодного воздуха, подаваемого дутьевым вентилятором, м<sup>3</sup>/ч:

$$V_{хв} = B_p V^o (\alpha_t - \Delta \alpha_t) \frac{t_{хв} - 273}{273} =$$

где  $B_p$  – расчётный расход топлива, м<sup>3</sup>/ч или кг/ч;  $V^o$  – теоретический расход воздуха для горения, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> или м<sup>3</sup>/кг;  $\alpha_t$  – коэффициент избытка воздуха в топке;  $\Delta \alpha_t$  – присосы воздуха в топке;  $t_{хв}$  – температура холодного воздуха, °C.

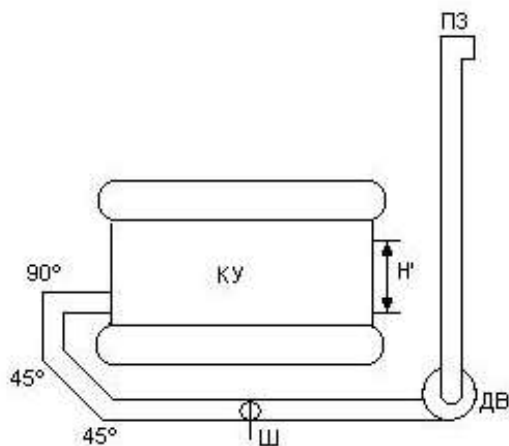


Рис.4.2. Схема воздушного тракта

2. Определить суммарное сопротивление воздушного тракта, Па:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{ты}} + \Delta P^{\text{хв}} + \Delta P^{\text{гв}} + \Delta P_{\text{вп}} =$$

где  $\Delta P_{\text{ты}}$  – сопротивление топочного устройства для подвода воздуха. Обычно принимается по рекомендациям или паспортным данным конкретного устройства. При сжигании газа и мазута можно выбрать горелки типа ГМ с сопротивлением 883 – 1180 Па, а для слоевых механических топок сопротивление решёток можно принять равным 785 Па;  $\Delta P^{\text{хв}}$ ,  $\Delta P^{\text{гв}}$  – сопротивление участков воздушного тракта при протекании холодного и горячего воздуха, Па. Так как мы воздух не греем, то по всему тракту протекает холодный воздух;  $\Delta P_{\text{вп}}$  – сопротивление воздушного подогревателя, Па.

3. Сопротивление воздушного тракта по холодному воздуху, Па:

$$\Delta P^{\text{хв}} = \sum \zeta \frac{\rho_{\text{в}} \omega_{\text{хв}}^2}{2} =$$

где  $\zeta$  – коэффициент местных сопротивлений. Сопротивления поворотов были приведены при расчёте газового тракта. Коэффициент сопротивления патрубка для забора воздуха можно принять  $\zeta_{\text{пз}} = 0,2 - 0,3$ ; коэффициент сопротивления дутьевого вентилятора  $\zeta_{\text{дв}} = 0,35 - 0,45$ ;  $\omega_{\text{хв}}$  – скорость воздуха в канале; можно принять  $\omega_{\text{хв}} = 8 - 12$  м/с.

4. Полный перепад давлений в воздушном тракте, Па:

$$\Delta P_{\text{вп}} = \Delta P_{\Sigma} \pm P_{\text{с}} - \Delta P_{\text{т}}' =$$

где  $\Delta P_{\Sigma}$  – суммарное сопротивление воздушного тракта, Па;  $P_{\text{с}}$  – самотяга на участках воздухопровода, Па; считается только на участках горячего воздуха, причём с плюсом берётся опускной канал, а с минусом – подъёмный;  $\Delta P_{\text{т}}' = \Delta P_{\text{т}}'' + 0,95 qH'$  – полное разрежение на выходе из топки;  $\Delta P_{\text{т}}'' = 20$  Па – разрежение в топке, создаваемое дымососом;  $0,95 qH'$  – подъёмная сила, возникающая в топке при движении горячих газов, Па;  $H'$  – расстояние по вертикали между центрами горелок и сечением выходного окна для газов, м, при

сжигании газа. Для слоевых топок это расстояние от колосниковой решётки до середины выходного окна.

Дутьевой вентилятор выбираем по производительности и полным аэродинамическим потерям.

Расчётная производительность дутьевого вентилятора, м<sup>3</sup>/с:

$$Q_{\text{дв}} = \beta_1 V_{\text{хв}} =$$

где  $\beta_1$  – коэффициент запаса, который можно принять рав-



ным 1,1.

Установленная мощность электродвигателя для вентилятора

$$N_{\text{дв}}^{\text{дв}} = \beta_2 Q_{\text{дв}} H_{\text{дв}} / \eta_{\text{дв}}^{\text{дв}} \cdot 100 =$$

где  $\beta_2$  – коэффициент запаса мощности;  $Q_{\text{дв}}$  – расчётная подача вентилятора, м<sup>3</sup>/с;  $H_{\text{дв}}$  – полный напор, создаваемый вентилятором, кПа;  $\eta_{\text{дв}}^{\text{дв}}$  – эксплуатационный КПД вентилятора (воздуходувки), %.

## 5. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ

Кроме парового котла в состав котельной входит теплотехническое и механическое оборудование. В курсовом проекте после всех расчётов рекомендуется подобрать всё оборудование для обеспечения работы котельной.

### 5.1. Выбор теплообменных аппаратов (водонагревателей)

При проектировании котельных теплообменные аппараты для нагрева воды не конструируются заново, а их типоразмеры подбираются по каталогам и справочникам [5].

Типоразмер теплообменного аппарата выбирается по его функциональному назначению, требуемой площади поверхности теплообмена и параметрам теплоносителей. По виду греющего теплоносителя они разделяются на паро-водяные и водо-водяные. При подборе можно варьировать количество и схемы присоединения (подсоединения) теплообменников. Для уточнения технических характеристик на конкретных режимах эксплуатации выполняются поверочные расчёты.

### 5.2. Выбор подогревателей сетевой воды

Подогреватели сетевой воды выпускаются двух типов исполнения – вертикального и горизонтального. Подогреватели вертикального исполнения устанавливаются преимущественно в крупных котельных, соизмеряясь с высотой здания котельной. Подогреватели сетевой воды представляют собой кожухотрубные теплообменные аппараты с двумя трубными досками, в которые завальцованы трубки. Пар подаётся в межтрубное пространство, а сетевая вода – в пространство перед трубной доской. Далее вода протекает по трубкам.

### 5.3. Охладители конденсата

Охладители конденсата (ОК) представляют собой водо-водяные теплообменные аппараты горизонтального исполнения. Обычно конденсат подаётся в межтрубное пространство; а вода – в трубки. К пароводяному теплообменному аппарату ОК подсоединяется последовательно по конденсату и воде. На каждую группу теплообменных аппаратов устанавливается отдельный ОК. Резервные ОК не предусматриваются. Технические характеристики ОК приведены в [10, табл. 8.4].

### 5.4. Аппараты для подогрева сырой и химически очищенной воды

Сырая и химически очищенная вода подогревается в пароводяных и водо-водяных теплообменных аппаратах. Сырую воду рекомендуется подавать в трубки во избежание выпадения шлама и образования отложений. Технические данные этих теплообменников приведены в [10, табл. 8.5, 8.6].

Подогреватели центральных тепловых пунктов (ЦТП) (абонентские водоподогреватели) непосредственно к оборудованию котельной не относятся, но они влияют на работу котельной. Тепловая мощность абонентского подогревателя определяется суммированием расчётных нагрузок всех потребителей, подсоединённых к данному ЦТП. Технические данные подогревателей ЦТП приведены в [10, табл. 8.8].

### 5.5. Подбор деаэратора

В котельных применяется термическая деаэрация воды, для чего её подогревают до температуры насыщения в деаэраторах паром. Применяется три типа деаэраторов – вакуумные, атмосферные и повышенного давления. Наиболее просты в эксплуатации атмосферные деаэраторы, вследствие чего они чаще устанавливаются в отопительных и производственных котельных. Основными частями деаэратора являются деаэрационная колонка с системой водораспределения и бак, служащий для создания резерва питательной воды.

#### 5.6. Расширители и теплообменники непрерывной и периодической продувки

Для использования теплоты непрерывной продувки котлов в котельных устанавливаются расширители и теплообменники непрерывной продувки [5].

Продувочная котловая вода поступает сначала в расширитель. В дросселирующих устройствах и в корпусе расширителя давление её снижается и одновременно происходит частичное испарение продувочной воды.

Образующийся пар отводится из расширителя обычно в деаэраторы, а отсепарированная вода пропускается через теплообменник, где охлаждается водой, используемой в цикле котельной, до температуры 40°C и затем сбрасывается в канализацию.

#### 5.7. Выбор редуционно-охладительной установки

Для понижения параметров пара используют редуционно-охладительные установки (РОУ). В промышленных котельных необходимость в установке РОУ предопределяется различием параметров пара, отпускаемого потребителям и вырабатываемого котлами. Если потребителям отпускают пар непосредственно из котла, то часть пара, предназначенного для использования в подогревательной котельной, может пропускаться через РОУ [5].

В РОУ последовательно протекают следующие термодинамические процессы: сначала на системе решеток происходит дросселирование (снижение давления с сохранением удельной энтальпии), затем – снижение температуры за счёт расходования энтальпии на испарение охлаждающей воды. Вода в РОУ обычно подаётся из деаэратора.

В котельной, как правило, устанавливают две РОУ - рабочую и резервную.

Выбор РОУ производится по расходу редуцированного пара и перепадам давления до РОУ и после неё, определяемым из расчёта тепловой схемы котельной.

#### 5.8. Подбор насосов

В котельных устанавливаются питательные, сетевые, конденсатные, подпиточные и вспомогательные насосы. Привод насосов преимущественно электрический, но иногда применяются насосы с приводом от паровых турбин [5].

Основными параметрами насосов являются подача, м<sup>3</sup>/ч; напор, МПа; мощность привода, кВт; частота вращения, об/мин; КПД.

Типоразмер насоса выбирается по требуемой подаче и потребному напору. Выбранный насос эксплуатируется на режиме, близком к номинальному. Отклонение от номинального режима приводит к понижению КПД.

##### 1. Подбор питательного насоса

Для питания паровых котлов чаще всего применяются центробежные насосы. Количество питательных насосов должно быть не менее двух на всю группу котлов, причём один из них резервный. Суммарная подача работающих насосов должна превышать паропроизводительность работающих котлов в максимальном зимнем режиме на 10%.

Питательные насосы перекачивают питательную воду из деаэратора в паровой котёл.

Напор питательного насоса, Па:

$$H_{\text{пн}} = 1,1 [P_{\text{к}} + (0,1 \dots 0,2)] =$$

где  $P_{\text{к}}$  – максимальное избыточное давление в барабане теплогенератора, МПа.

Для определения производительности питательных насосов следует учитывать расходы:

- на питание всех работающих паровых котлов;
- непрерывную продувку парогенераторов;
- пароохладители;
- РОУ и охладительные установки в котельной.

Подбор питательных насосов производим по [10, табл. 8.15].

## 2. Подбор сетевого насоса

Сетевые насосы служат для перекачивания горячей воды из котельной к потребителям и устанавливаются на обратной сетевой линии. Они бывают только центробежные с электроприводом. Насосы одинаковых размеров устанавливаются параллельно, один из которых должен быть резервным. Количество насосов определяется по максимальному зимнему расходу сетевой воды, требуемого напора и удобства сезонного регулирования подачи путём отключения некоторых из них.

## 3. Подбор конденсатного насоса

Конденсатные насосы перекачивают конденсат из баков или бойлерных установок в деаэратор. Количество устанавливаемых насосов должно быть не менее двух. Конденсатные насосы могут работать в непрерывном или периодическом режимах.

Подача конденсатных насосов определяется исходя из максимального количества конденсата, но без резерва, м<sup>3</sup>/ч:

$$G_{\text{кн}} = 1,2 G_{\text{тех}} =$$

Напор конденсатного насоса, МПа:

$$H_{\text{кн}} = 1,1 [P_{\text{д}} + (0,18 \dots 0,20)] =$$

где  $P_{\text{д}}$  – избыточное давление в деаэраторе ( $P_{\text{д}} = 0,02$  МПа).

Технические данные конденсатных насосов приведены в [10, табл. 8.18].

## 4. Подбор насоса сырой воды

Подача насоса сырой воды определена при расчёте тепловой схемы котельной  $G_{\text{св}}$ , м<sup>3</sup>/ч.

Напор сырой воды должен обеспечивать подачу воды через всё оборудование водо-подогревательной установки в деаэратор с  $P = 0,112$  МПа, установленный на отметке  $h = 6,5$  м.

Потери напора на водоподготовке складываются из потери напора, МПа:

– в подогревателе сырой воды	0,04
– катионитном фильтре I ступени	0,07
– катионитном фильтре II ступени	0,09
– подогревателе химочищенной воды	0,04
– на вводе в деаэратор	0,10
– подъёма воды в деаэратор	0,125
– в шайбах расходомеров	$0,015 \times 3 =$
– в трубопроводах	0,03
Суммарная потеря напора:	0,54

Потребный напор насоса сырой воды с учётом напора на вводе 0,15 МПа составит  $H_{\text{св}} = 0,54 - 0,15 = 0,39$  МПа.

К установке принимаем два насоса, один из них резервный. Выбор насосов проводим по [10, табл. 8.17].

## 5.9. Подбор мерника раствора соли

Вместимость мерника раствора соли принимаем по большему расходу соли на регенерацию фильтров II ступени, м<sup>3</sup>:

$$V_m = 1,3 G_{np} =$$

где  $G_{np}$  – расход 26%-го насыщенного раствора соли на одну регенерацию; 1,3 – коэффициент запаса вместимости.

#### 5.10. Подбор резервуара мокрого хранения соли

Объём резервуара мокрого хранения соли,  $m^3$ :

$$V_c = 1,5 G_{tr}(v + p)/1000 =$$

где  $G_{tr}$  – суточный расход соли, кг/сут;  $v$  – количество суток, на которое предусматривается запас (10 – 30 сут);  $p$  – количество суток, на которое предусмотрен остаток соли (5 – 10 сут).

Принимаем к установке для мокрого хранения соли железобетонный резервуар вместимостью  $V_c$ ,  $m^3$ , высотой  $h = 2$  м.

#### 5.11. Подбор промывочного насоса

Напор насоса для взрыхляющей промывки катионитного фильтра можно принять равным 0,1 – 0,12 МПа.

Подача насоса должна обеспечить взрыхляющую промывку фильтра,  $m^3/ч$ :

$$G_{взр} = i \cdot f \cdot 3600/1000 =$$

Принимаем к установке один промывочный насос.

#### 5.12. Подбор промывочного бака

Для взрыхления катионита в катионитных фильтрах устанавливается бак вместимостью которого,  $m^3$ :

$$V_n = 1,3 G_{взр} = \frac{i \cdot f \cdot 3600}{1000} \cdot 1,3 =$$

где  $G_{взр}$  – расход воды на взрыхляющую промывку фильтра,  $m^3/ч$ ; 1,3 – коэффициент запаса вместимости.

Принимаем к установке бак вместимостью  $V_n$ ,  $m^3$ , и высотой  $h = 2,5$  м.

### 6. КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ

Взаимное расположение основного и вспомогательного оборудования в помещении котельного цеха называют компоновкой оборудования. Компоновка оборудования выбирается проектной организацией в зависимости от вида сжигаемого топлива, способа сжигания, типа топки, мощности котлоагрегата, требований, предъявляемых к очистке продуктов сгорания, и от других факторов.

Компоновка оборудования должна обеспечивать удобство работы и безопасность эксплуатационного и ремонтного персонала, минимальную протяжённость трубопроводов, газоходов и воздухопроводов, минимальные затраты на сооружение котельной, автоматизацию технологических процессов, механизацию ремонтных работ, возможность расширения котельной при установке нового оборудования. Все решения, принимаемые при компоновке оборудования, должны отвечать требованиям строительных норм и правил, правилам техники безопасности, санитарным и противопожарным нормам.

Одним из важных принципов современной компоновки оборудования котельных цехов является использование отдельных блоков повышенной заводской готовности при проектировании, поставке и монтаже оборудования. Сооружение котельной из отдельных блоков технологического оборудования вместе с трубопроводами, газоходами, воздухопроводами, кабелями и другими коммуникациями заметно сокращает сроки и повышает качество строительно-монтажных работ, т. к. основная часть этих работ выполняется на заводе. На монтажной площадке производится

только доводка блоков и соединение их между собой.

В настоящее время считается, что для центральных котельных с паровыми и водогрейными котлами наиболее рациональна компоновка с параллельным расположением котлов и вспомогательного оборудования (тягодутьевых машин, золоуловителей, пылеприготовительных установок, деаэраторов, питательных насосов и т.д.). Автоматизированные системы управления следует размещать в специальном помещении. В крупных котельных с паровыми и водогрейными котлами оборудование водоподготовки следует размещать в отдельной комнате.

В соответствии со СНиП II-35-76 размеры пролётов зданий и сооружений следует принимать кратным 6 м. При специальном обосновании допускаются пролёты с размерами, кратными 3 м. Шаг колонн должен приниматься равным 6 м, а при специальном обосновании – 12 м. Объёмно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений котельных должны допускать расширение зданий. При установке только паровых или водогрейных котлов для расширения котельной оставляется свободным один из торцов здания. В котельных смешанного типа (с паровыми и водогрейными котлами) в одной половине здания следует установить паровые, а в другой – водогрейные котлы. Расширение паровой части котельной производится в одну сторону, а водогрейную в другую, т.е. оба торца здания должны быть свободными.

Для крупноблочного монтажа оборудования в стенах и перекрытиях зданий должны предусматриваться монтажные проёмы, для которых, как правило, используются торцевые стены здания со стороны возможного расширения котельной.

Проектными институтами (Сантехпроект, ВНИПИэнергопром и др.) разработаны типовые проекты производственных и отопительных котельных с паровыми котлами типов ДЕ и КЕ Бийского котельного завода, а также паровыми котлами Таганрогского котельного завода. Проектами котельных предусмотрена выработка пара для технологических нужд и нужд отопления, вентиляции и горячего водоснабжения коммунальных и бытовых потребителей. Разработаны также типовые проекты котельных с водогрейными котлами серии КВ-ГМ.

Компоновка оборудования котельной с четырьмя котлами ДЕ-10-14, разработанная в качестве типовой институтом «Сантехпроект», предназначена для теплоснабжения потребителей паром и горячей водой. Основным топливом в котельной является природный газ, резервным – мазут. Строительная часть котельной выполняется из сборных железобетонных конструкций. Оборудование котельной рассчитано на суммарную тепловую нагрузку 26 МВт. Максимальная расчётная температура горячей воды – 150°C. Для горячего водоснабжения и подпитки тепловой сети предусмотрено приготовление воды с температурой 70°C. Котлоагрегаты вырабатывают насыщенный пар с абсолютным давлением 1,4 МПа. В редукционной установке давление пара снижается до 0,7 МПа.

Особенностью такой компоновки оборудования являются транспортабельные строительно-монтажные блоки, изготавливаемые на заводе или в мастерских монтажных организаций. Всё вспомогательное оборудование вместе с трубопроводами (деаэрационно-питательная установка, сетевые насосы, установка горячего водоснабжения и т.д.) состоит из 10 блоков, размещенных на усиленный пол без фундаментов.

Каждый котельный агрегат имеет индивидуальный водяной экономайзер, дымосос и дутьевой вентилятор. Дымовая труба высотой 45 м – общая для всех котлоагрегатов. Для производства ремонтных работ в котельной устанавливаются тали над подогревателем сетевой воды, дымососами и вентиляторами.

### **Методические рекомендации по подготовке к лабораторным занятиям**

Ведущей целью лабораторных работ является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей). Содержанием лабораторных работ могут быть экспериментальная проверка формул, методик расчета, установление и подтверждение закономерностей, ознакомление с методиками проведения экспериментов, установление свойств веществ, их качественных и количественных характеристик, наблюдение развития явлений, процессов и др. В ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с различными приборами, установками, лабораторным оборудованием, аппаратурой, которые могут составлять часть профессиональной практической подготовки, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследование, оформлять результаты).

Лабораторные работы могут носить репродуктивный, частично - поисковый и поисковый характер.

Работы, носящие репродуктивный характер, отличаются тем, что при их проведении студенты пользуются подробными инструкциями, в которых указаны: цель работы, пояснения (теория, основные характеристики), оборудование, аппаратура, материалы и их характеристики, порядок выполнения работы, таблицы, выводы (без формулировки), контрольные вопросы, учебная и специальная литература.

Работы, носящие частично - поисковый характер, отличаются тем, что при их проведении студенты не пользуются подробными инструкциями, им не дан порядок выполнения необходимых действий, и требуют от студентов самостоятельного подбора оборудования, выбора способов выполнения работы в инструктивной и справочной литературы и др.

Работы, носящие поисковый характер, характеризуются тем, что студенты должны решить новую для них проблему, опираясь на имеющиеся у них теоретические знания.

Формы организации студентов на лабораторных работах: фронтальная, групповая и индивидуальная.

При фронтальной форме организации занятий все студенты выполняют одновременно одну и ту же работу.

При групповой форме организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2 - 5 человек.

При индивидуальной форме организации занятий каждый студент выполняет индивидуальное задание.

Оформление письменного отчета по выполненной работе в соответствии с требованиями. Письменный отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать следующие сведения:

- название работы и сведения об авторе отчета (курс, имя, фамилия);
- цель работы и формулировка используемого метода анализа;
- описание выполнения лабораторных исследований или расчетов;
- список используемой литературы.

Оценки за выполнение лабораторных работ учитывается как показатель текущей успеваемости обучающегося.

различной формы.

### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Лабораторная работа выполняется с целью приобретения навыков по контролю работы оборудования котельной, изучение приборостроения и принципа их действия, определения к.п.д. котельного агрегата методом прямого баланса и выявления зависимости его от теплопроизводительности котла.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Современная котельная установка – сложное инженерное сооружение. Чтобы сделать ее работу безопасной, экономичной, уменьшить количество обслуживающего персонала, котельную необходимо оснастить контрольно-измерительными приборами и автоматикой. Общими задачами контроля и управления работой котельного агрегата является обеспечение:

- 1) выработки необходимого количества пара или горячей воды при определенных параметрах – давлении и температуре;
- 2) экономичности сжигания топлива, рационального использования тепла для собственных нужд установки и сведения потерь теплоты к минимуму ;
- 3) надежности, т.е. установление и сохранение нормальных условий работы котельного агрегата, исключающих возможность неполадок и аварий.

Для контроля параметров, наблюдение за которыми необходимо при эксплуатации котельной, предусматриваются показывающие приборы; для контроля параметров, изменение которых может привести к аварийному состоянию оборудования, - сигнализирующие и показывающие приборы, а для контроля параметров, учет которых необходим для анализа работы оборудования для хозяйственных расчетов, - регистрирующие или суммирующие приборы.

Для паровых котлов с давлением пара свыше 0,17 МПа и производительностью от 1 до 10 кг/с следует предусматривать приборы для измерения:

- а) температуры пара до главной паровой задвижки, питательной воды за экономайзером, уходящих газов, воздуха до и после воздухоподогревателя;
- б) давления пара в барабане (для котлов) производительностью более 10 т/час указанный прибор должен быть регистрирующим) до паровой задвижки; у мазутных форсунок; питательной воды на входе в экономайзер после регулирующего органа; воздуха после дутьевого вентилятора, перед горелками за регулирующими органами и пневмозабрасывателями, жидкого и газообразного топлива перед горелками за регулирующим органом;

в) разряжения в топке, перед горелками, за регулирующим органом;

г) расхода пара в общем паропроводе от котлов;

д) содержание кислорода в уходящих газах;

е) уровня воды в барабане котла. При расстоянии от площадки, с которой ведется наблюдение за уровнем воды, до оси барабана более 6 м или при плохой видимости водоуказательных приборов на барабане следует дополнительно предусматривать два сниженных указателя уровня, один из которых должен быть регистрирующим.

Для водогрейных котлов с температурой воды выше 115<sup>0</sup>С следует предусматривать приборы для измерения:

а) температуры воды на входе в котел после запорной арматуры, воздуха до и после воздухоподогревателя, уходящих газов;

б) давления воды на входе в водогрейный котел после запорной арматуры и на выходе из котла до запорной арматуры, воздуха после дутьевого вентилятора и каждого регулирующего органа для котлов, имеющих зонное дутье, перед горелками за регулирующими органами и пневмозабрасывателем, жидкого и газообразного топлива перед горелками после регулирующего органа;

в) разряжения в топке, перед дымососом;

г) расхода воды через котел, жидкого и газообразного топлива;

д) содержания кислорода и уходящих газов (для котлов производительностью до 23,2 МВт – переносной газоанализатор, для котлов большей производительностью – автоматические, показывающие и регистрирующие газоанализаторы). Для систематического контроля за соответствием, заданным величинам параметров, рабочего процесса котельных агрегатов (температуры, давления, разряжения в топке и т.д.), для

измерения расхода топлива, воды, воздуха, количества получаемого пара применяются контрольно-измерительные приборы (КИП):

1. Приборы для измерения давления – жидкостные и пружинные.

Для измерения перепада давлений применяются переносные и стационарные жидкостные дифференциальные манометры. Манометры, устанавливаемые на котлах, пароперегревателях, экономайзерах и питательных линиях должны иметь класс точности не ниже 2,5 и с такой шкалой, чтобы при рабочем давлении стрелка его находилась в средней трети шкалы. На шкале манометра должны быть намечена красная черта по делению, соответствующему высшему допустимому рабочему давлению в котле. Манометр должен быть установлен так, чтобы его показания были отчетливо видны обслуживающему персоналу, при этом шкала его должны находиться в вертикальной плоскости или с наклоном вперед на  $30^0$ . Номинальный диаметр манометров, устанавливаемых на высоте до 2 м от уровня площадки наблюдения за манометром, должен быть не менее 100 мм, на высоте от 2 до 5 м – не менее 150 мм и на высоте более 5 м не менее 250 мм. Между манометром и паровым котлом должны быть соединительная сифонная трубка диаметром не менее 10 мм, с трехходовым краном. Манометры не допускаются к применению в случаях, когда:

- а) на манометре отсутствует пломба или клеймо с отметкой о проведении проверки;
- б) истек срок проверки манометра;
- в) стрелка манометра при его выключении не возвращается к нулевому показанию шкалы на величину, превышающую половину допускаемой погрешности для данного манометра;
- г) разбито стекло или имеются другие повреждения манометра, которые могут отразиться на правильность его показаний.

2. Приборы для измерения температуры: жидкостные, манометрические термометры, термометры сопротивления, термопары, пирометры.

3. Приборы для измерения расхода жидкостей, паров и газов. При эксплуатации котельных установок получили распространение следующие основные виды расходомеров: скоростные, объемные, дроссельные.

4. Приборы для анализа продуктов сгорания ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ) по принципу действия делят на:

- а) химические (типа ГХП и ВТИ), основанные на поглощении основных частей продуктов сгорания соответствующими реактивами;
- б) физические (электрические и магнитные), основанные на использовании физических свойств газов.

Пример расстановки контрольно-измерительных приборов см. на рис. 1.

Используя приборы КИП, определяют эффективность работы теплоагрегата путем вычисления его коэффициента полезного действия методом прямого или обратного балансов. При первом методе коэффициент полезного действия определяется по формуле:

$$(1) \quad \eta_{\text{ка}} = \frac{Q}{Q_0 \cdot Q_{\text{н}}^{\text{P}}},$$

где  $\eta_{\text{ка}}$  - коэффициент полезного действия котлоагрегата;

$Q$  - полезноиспользуемое тепло в котельном агрегате, кВт;

$Q_0$  - расход топлива, кг/с;

$Q_{\text{н}}^{\text{P}}$  - низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Изменяя количество подаваемого топлива, можно установить зависимость к.п.д. от производительности котла. С этой целью выбирается номинальная производительность котла, которой называется наибольшая производительность, обеспечиваемая котельной



установкой в течение длительной эксплуатации без расстройств режима работы и при фактических параметрах пара и воды, соответствующих заданным. При номинальном режиме в соответствии с имеющимися экспериментальными данными при испытании данных теплоагрегатов задаются значением к.п.д. Затем рассчитывается расход топлива по формуле:

$$Q_o = \frac{Q_1}{\eta_{ка} \cdot Q_n^p}, \text{ кг/с}, \quad (2)$$

где  $Q_1$  - номинальная теплопроизводительность котлоагрегата, определяемая по формуле:

$$Q_1 = D_1 (h_1^{\text{II}} - h_1^{\text{I}}), \text{ кВт}, \quad (3)$$

здесь  $D_1$  - номинальная паропроизводительность котлоагрегата, кг/с;

$h_1^{\text{II}}$  - энтальпия вырабатываемого пара, кДж/кг;

$h_1^{\text{I}}$  - энтальпия питательной воды, кДж/кг.

При изменении количества подаваемого газообразного топлива в топку изменяется его давление в трубопроводе в соответствии с равенством

$$\frac{Q_o^{\text{I}}}{Q_o^{\text{II}}} = \frac{\nabla P^{\text{I}}}{\nabla P^{\text{II}}}, \quad (4)$$

где  $Q_o^{\text{II}}$  - расход топлива при втором режиме работы котлоагрегата, кг/с;

$\nabla P^{\text{I}}$  - перепад давления газа в подающем трубопроводе и топке при номинальном режиме, кг/м<sup>2</sup>;

$\nabla P^{\text{II}}$  - перепад давления газа в подающем трубопроводе и топке при втором режиме работы котлоагрегата.

Из формулы (4) следует:

$$Q_o^{\text{II}} = Q_o^{\text{I}} : \frac{\nabla P^{\text{I}}}{\nabla P^{\text{II}}}$$

Определив по формуле (5) расход топлива при втором режиме работы котлоагрегата, рассчитываем к.п.д. по формуле (1).

Повторив эксперимент и рассчитав к.п.д. парового котла, можно представить зависимость  $\eta_{ка}$  от теплопроизводительности котла в соответствующей системе координат.

В общем виде эта зависимость представлена на рис. 2.

## ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Изучив схему расстановки приборов (рис.10) и требования, предъявляемые КИП

при эксплуатации котлоагрегатов, необходимо выяснить действительную расстановку контрольно-измерительных приборов, изучить принцип их действия, назначение, проверить их пригодность для эксплуатации.

2. Провести исследование зависимости к.п.д. котлоагрегата ДКВР-20-13 от его

теплопроизводительности. С этой целью необходимо выбрать номинальный режим работы и задаться при этом величиной к.п.д.  $(0,88 \pm 0,9)$ . Затем с помощью тягонапорометров марки ТДЖ измерить давление газообразного топлива в подающем трубопроводе после регулирующего устройства и разрежение в топке. С помощью первичного прибора ДМ и вторичного – КСД-2 определить паропроизводительность котла, а с помощью дистанционного манометра марки МЭД и вторичного прибора КСД-2 – давление пара в барабане котла. По формуле (2) рассчитывается расход топлива при номинальном режиме с учетом, что  $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 8500 \text{ ккал/кг} = 35530 \text{ кДж/кг}$ . С помощью регулирующего устройства уменьшить давление газа в подающем трубопроводе, следовательно, уменьшить перепад давления и расход топлива, который рассчитывается по формуле (5).

Затем определяется к.п.д. работы котлоагрегата при этом режиме по формуле (1).

Повторно изменяется режим работы парового котла и проводится аналогичный расчет.

## ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать:

1. Схему расстановки приборов контроля, выполненную в соответствии с ГОСТ 3925-59.
2. Перечень используемых приборов для измерения температуры, давления, разрежения, расхода, уровня воды в барабане котла и т.д.
3. Выводы от лично правильности расстановки и типах применяемых приборов.
4. Результаты исследования эффективности работы котлоагрегата, которые должны быть представлены в виде таблиц 1 и 2.

Таблица 1.

Результаты измерений

№ опыта	Тип котлоагрегата	Давление газа после регул. устан. $P_1$ , кг/м <sup>2</sup>	Давление в топке $P_2$ , кг/м <sup>2</sup>	Перепад давления газа $\nabla P$ , кг/м <sup>2</sup>	Паропроизводительность котла $D$ , т/час (кг/с)	Давление пара в барабане котла $P$ , кг/см <sup>2</sup>	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8

Таблица 2

Результаты расчетов

№ опыта	Паропроизводительность котла $D$ , т/час (кг/с)	Энтальпия вырабатываемого пара $h$ , кДж/кг	Энтальпия питательной воды $h$ , кДж/кг	Разность энтальпий пара и воды $\nabla h$ , кДж/кг	Теплопроизводительность котла $\nabla Dh$ , кВт	Расход топлива $Q_0$ , кг/с	К.п.д. котлоагрегата $\eta_{\text{ка}}$
1	2	3	4	5	6	7	8

5. Зависимость к.п.д. от теплопроизводительности, представленную графически в системе координат  $\eta_{\text{ка}} - \nabla Dh$ .

### 3. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### 3.1. Рекомендуемая основная литература

№	Название
1.	Делягин Г.Н., Лебедев В.И., Пермяков Б.А., Хаванов П.А. Теплогенерирующие установки: учебник, 2-е издание, М.: Бастет, 2010.
2.	1. Лебедев Б.И., и др. Расчет и проектирование теплогенерирующих установок систем теплоснабжения, 1993.
3.	2. Беликов С.Е., Котлер В.Р., Малые котлы и защита атмосферы. Снижение вредных выбросов при эксплуатации промышленных и отопительных котельных, М.: Энергоатомиздат, 1996, 128 с.
4.	3. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод), Л.: Энергия, 1998, 296 с.
5.	4. Роддатис К.Ф., Полторецкий А.Н. Справочник по котельным установкам малой производительности, М.: Энергоатомиздат, 1989, 487 с.
6.	Котельные установки и парогенераторы [Электронный ресурс]: учебник / В.М. Лебедев [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. — 375 с. — 978-5-89035-641-3. — Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/26812.html">http://www.iprbookshop.ru/26812.html</a>
7.	Автономное теплоснабжение [Электронный ресурс] : Учебное пособие / В.М. Полонский, Г.И. Титов, А.В. Полонский. - М. : Издательство АСВ, 2007. - <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5930933596.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5930933596.html</a>
8.	Котельные установки ТЭС : теплотехнические расчеты [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г.И. Жихар - Минск : Выш. шк., 2017. - <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789850628831.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789850628831.html</a>

#### 3.2. Рекомендуемая дополнительная литература

№	Название
1.	"Машиностроение. Котельные установки. [Электронный ресурс] / Ю.А. Рундыгин, Е.Э. Гильде, А.В. Судаков. ; Под ред. Ю.С. Васильева, Г.П. Поршнева. - М.: Машиностроение, 2009." - <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5217019492.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5217019492.html</a>
2.	Парогенераторы производительностью 2,5...25 т/ч [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Генераторы тепла и автономное теплоснабжение» для студентов бакалавриата очной формы обучения направления подготовки 08.03.01 Строительство / . — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 48 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/62626.html">http://www.iprbookshop.ru/62626.html</a>
3.	Материальный и тепловой балансы котельной установки [Электронный ресурс] : методическая разработка к практическим занятиям, курсовому и дипломному проектированию / . — Электрон. текстовые данные. — Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2010. — 49 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/18228.html">http://www.iprbookshop.ru/18228.html</a>
4.	Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование [Электронный ресурс] / Под ред. проф. Б. М. Хрусталева. - 3-е издание исправленное и дополненное. - М. : Издательство АСВ, 2010. - <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930933944.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930933944.html</a>
5.	"Машиностроение. Котельные установки. [Электронный ресурс] / Ю.А. Рундыгин,

	Е.Э. Гильде, А.В. Судаков. ; Под ред. Ю.С. Васильева, Г.П. Поршнева. - М.:Машиностроение, 2009." <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5217019492.htm">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5217019492.htm</a>
6.	Сети газопотребления котельных [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Вершилович В.А. - М. : Инфра-Инженерия, 2018. - <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785972902279.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785972902279.html</a>
7.	Теплогасоснабжение населенных мест и предприятий [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов 2-4 курсов бакалавриата направлений 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 07.03.04 «Градостроительство», 08.03.01 «Строительство» и магистрантов направлений 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 07.04.04 «Градостроительство», 08.04.01 «Строительство» всех форм обучения / . — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 89 с. — 978-5-7731-0515-2. — Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/72948.html">http://www.iprbookshop.ru/72948.html</a>
8.	СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная версия СНиП 41-03-2003 Профессиональная справочная система «Техэксперт»
9.	СП 30.13330.2012 Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная версия СНиП 2.04.01-85 Профессиональная справочная система «Техэксперт»
10.	СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99* Профессиональная справочная система «Техэксперт»

### 3.3. Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы, интернет-ресурсы

№	Перечень
1.	Пакет офисных программ Microsoft Office
2.	Пакет офисных программ OpenOffice
3.	Операционная система Windows
4.	Autodesk, Autocad, Revit, Autodesk 3ds Max
5.	Профессиональная справочная система «Техэксперт»
1.	Научная библиотека ЧувГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://library.chuvsu.ru">http://library.chuvsu.ru</a>
2.	Электронно-библиотечная система IPRBooks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru">http://www.iprbookshop.ru</a>
3.	Электронная библиотечная система «Юрайт»: электронная библиотека для вузов и ссузов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="https://www.biblio-online.ru">https://www.biblio-online.ru</a>
4.	ЭБС «Издательство «Лань» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
1.	Минстрой России <a href="http://www.minstroyrf.ru/docs/">http://www.minstroyrf.ru/docs/</a>
2.	Министерство строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Чувашской Республики <a href="http://minstroy.cap.ru/about">http://minstroy.cap.ru/about</a>
3.	Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) <a href="http://www.gost.ru">www.gost.ru</a>
4.	Образовательное сообщество Autodesk <a href="http://www.autodesk.ru/adsk/servlet/pc/index?siteID=871736&amp;id=18409945">http://www.autodesk.ru/adsk/servlet/pc/index?siteID=871736&amp;id=18409945</a>
5.	Единое окно к образовательным ресурсам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>
6.	Российская государственная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://www.rsl.ru">http://www.rsl.ru</a>

7.	Российская национальная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://www.nlr.ru">http://www.nlr.ru</a>
8.	Научная электронная библиотека «Киберленинка» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://cyberleninka.ru">http://cyberleninka.ru</a>
9.	Сайт для проектировщиков <a href="http://www.dwg.ru">www.dwg.ru</a>