



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

# **ВОДОПОДГОТОВКА**

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО**

**по выполнению контрольных работ  
по одноименному курсу для студентов  
специальности 1-43 01 05  
«Промышленная теплоэнергетика» (Т.01.02.00)  
заочной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2005

УДК 621.182.12(075.8)  
ББК 31.37я73  
В62

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
заочного факультета ГГТУ им. П.О. Сухого*

Авторы-составители: *Н. В. Овсянник, Е. М. Иванова*  
Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение»  
ГГТУ им. П. О. Сухого *Т. В. Алферова*

**Водоподготовка** : практ. рук. по выполнению контрол. работ по одноим. курсу для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» (Т.01.02.00) заоч. формы обучения / авт.-сост.: Н. В. Овсянник, Е. М. Иванова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2005. – 55 с.  
ISBN 985-420-423-5.

Практическое пособие содержит основные вопросы, связанные с выбором систем водоподготовки, осуществлением различных химических процессов обработки воды, расчетом показателей качества воды и выбором основного и вспомогательного оборудования.

Для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» (Т.01.02.00) заочной формы обучения.

**УДК 621.182.12(075.8)**  
**ББК 31.37я73**

**ISBN 985-420-423-5**

© Овсянник Н. В., Иванова Е. М., составление, 2005  
© Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», 2005

## Введение

Дисциплина «Водоподготовка» является базовой для обучения студентов по специальности Т 01.02.00 «Теплоэнергетика».

Химически обрабатываемая вода в котельных установках используется на питание паровых и водогрейных котлов, на подпитку тепловых сетей с открытой системой теплоснабжения и технологические нужды предприятий. Данная рассчитываемая водоподготовительная установка (ВПУ) предназначена для приготовления воды, идущей на питание паровых котлов.

В ходе выполнения контрольной работы по курсу «Водоподготовка» студентам необходимо выполнить расчет водоподготовительной установки, обеспечивающей подачу питательной и подпиточной воды для определенного типа котлов с заданной производительностью. При этом необходимо учесть соответствующие нормы качества воды и на их основании осуществить выбор необходимого технологического оборудования. При расчете необходимо:

- выписать показатели качества исходной воды и перевести их перерасчёт из мг/кг в мг-экв/кг;
- произвести выбор схемы водоподготовительной установки и выполнить её эскизное изображение;
- дать полное описание выбранной схемы;
- определить производительность ВПУ;
- проанализировать изменение показателей качества воды после отдельных стадий её обработки;
- произвести расчёт схемы и выбор основного оборудования ВПУ.

Теоретическая часть работы заключается в изложении материала по трем основным разделам курса:

- основные понятия и определения;
- методы водоподготовки;
- схемы оборудования и установок водоподготовки.

Работа выполняется студентом согласно варианту, что позволяет индивидуализировать задание.

# 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ «ВОДОПОДГОТОВКА»

Целью преподавания и изучения дисциплины является получение теоретических знаний о методах докотловой обработки воды, позволяющих осуществить выбор схемы водоподготовительной установки, рассчитать катионитные фильтры.

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КУРСА «ВОДОПОДГОТОВКА»

### 2.1. Нормы качества воды и пара

#### 2.1.1. Нормы качества питательной воды и пара

Согласно правилам Госгортехнадзора докотловая обработка воды должна предусматриваться: для паровых котлов производительностью более 0,7 т/ч; для паровых котлов, имеющих экранные поверхности нагрева, независимо от паропроизводительности и давления; для неэкранированных паровых котлов, но работающих на высококалорийном топливе – газе и мазуте; для паровых чугунных секционных котлов; для всех водогрейных котлов.

Внутрикотловая обработка воды допускается: для неэкранированных котлов паропроизводительностью менее 0,7 т/ч, работающих на твердом топливе с давлением пара до 14 ат; для газотрубных и жаротрубных котлов, работающих на твердом топливе. Жесткость питательной воды для котлов, допускающих внутрикотловую обработку, не должна превышать 3 мг-экв/кг.

Нормы качества питательной воды для паровых котлов при докотловой обработке воды приведены в табл. 2.1.

Общую щелочность и сухой остаток питательной воды для паровых котлов не нормируют. Они обуславливаются выбранными методами обработки воды в соответствии с допустимыми размерами продувки и качеством исходной воды.

Щелочность питательной воды определяют по формуле

$$\text{Щ}_{\text{п.в}} = \alpha_{\text{о.в}} \text{Щ}_{\text{о.в}} + (1 - \alpha_{\text{о.в}}) \text{Щ}_{\text{к}}, \text{ мг-экв/кг}, \quad (2.1)$$

где  $\text{Щ}_{\text{п.в}}$  – щелочность питательной воды, мг-экв/кг;

$\text{Щ}_{\text{к}}$  – щелочность конденсата, мг-экв/кг; при отсутствии данных о качестве конденсата щелочность принимается равной 0,05 мг-экв/кг;

$\alpha_{\text{о.в}}$  – доля обработанной воды, в питательной, или, что то же, потери пара и конденсата в долях от паропроизводительности котельной.

Сухой остаток питательной воды определяется по формуле:

$$S_{п.в} = \alpha_{о.в} S_{о.в} + (1 - \alpha_{о.в}) S_{к}, \text{ мг/кг}, \quad (2.2)$$

где  $S_{п.в}$  – сухой остаток питательной воды, мг/кг;

$S_{к}$  – сухой остаток конденсата, мг/кг; при отсутствии данных о качестве конденсата сухой остаток принимается равным 5 мг/кг.

Таблица 2.1

**Нормы качества питательной воды для паровых котлов**

Тип котлов	Жесткость общая, мг-экв/кг	Растворенный кислород, мг/кг		Содержание железа, мг/кг	Содержание масла, мг/кг
		для котлов без экономайзеров или чугунными экономайзерами	для котлов со стальными экономайзерами		
Газотрубные и жаротрубные	0,03–0,5	Не нормируется	–	–	–
Чугунные секционные	0,3	–	–	–	–
Водотрубные неэкранированные при давлении менее 14 ат	0,03	0,1	0,03	0,2	5,0
Водотрубные экранированные при давлении менее 14 ат	0,02	0,1	0,03	0,2	5,0
Водотрубные с газомазутными топками при давлении менее 14 ат	0,02	0,1	0,03	0,2	5,0
Водотрубные с естественной циркуляцией при давлении менее 40 ат	0,01	0,03	0,03	0,05	1,0

Для промышленных котлов с пароперегревателями, если не предъявляются повышенные требования к качеству пара, солесодержание насыщенного и перегретого пара не должно превышать следующих норм:

Давление пара, ат	Солесодержание пара, мг/кг
до 13	1,0
13–20	0,5
20–40	0,3

Определение солесодержания производится электромеханическим методом с предварительной дегазацией, методом пламя-фотометрии для концентрирования ионов (достаточно катионов) на ионитных фильтрах. Для котлов без пароперегревателей влажность пара не должна превышать 1 %, если к пару не предъявляют более повышенных требований.

### **2.1.2. Нормы качества котловой воды**

При выборе схем обработки воды и при эксплуатации паровых котлов качество котловой (продувочной) воды нормируют по общему солесодержанию (сухому остатку), величина которого обуславливается конструкцией сепарационных устройств, которыми оборудован котел, и устанавливается заводом-изготовителем.

Сухой остаток котловой (продувочной) воды для котлов ДКВР (без пароперегревателей) принимают по табл. 2.2 в зависимости от типа сепарационных устройств, которыми оборудован котел.

Таблица 2.2

**Сухой остаток котловой воды для котлов ДКВР**

<b>Тип сепарационного устройства</b>	<b>Сухой остаток, мг/кг</b>
Механические внутрибарабанные сепарационные устройства	3000
Внутрибарабанные сепараторы	4000
Двухступенчатое испарение и механические внутрибарабанные сепарационные устройства	6000
Выносные циклоны при двухступенчатом испарении	10000

Абсолютная величина щелочности (мг-экв/кг) котловой (продувочной) воды не нормируется. Минимальная щелочность котловой воды в чистом отсеке, а также в котле без ступенчатого испарения при питании котлов умягченной водой принимается не менее 1 мг-экв/кг.

Сухой остаток котловой (продувочной) воды для котлов, не имеющих заводских паспортных или эксплуатационных данных, может приниматься по табл. 2.3.

Для многобарабанных котлов учитывается паронапряжение парового объема каждого верхнего барабана, выдающего пар потребителям, и принимается максимальная величина.

Нижние пределы норм сухого остатка принимаются при более высоком паронапряжении, а верхние пределы – при более низком паронапряжении. Нормы качества котловой воды по сухому остатку

даны исходя из величины относительной щелочности котловой воды до 10 %.

Таблица 2.3

**Сухой остаток продувочной воды**

Тип сепарационных устройств	Среднее паронапряжение парового объема барабанов котла, выдающих пар, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ·ч					
	< 300	301–500	501–700	701–1000	1001–1500	> 1500
Сепарационные устройства (дырчатый потолок, дроссельная стенка, отбойные щитки, циклоны)	8000	400–6000	2000–4000	1500–2000	500–1500	< 500
Двухступенчатое испарение (внутрибарабанные отсеки), сепарационные устройства без промывки пара	1200	7000–12000	5000–7000	3000–5000	1500–3000	< 1500
Ступенчатое испарение с выносными циклонами и сепарационными устройствами или устройством для промывки пара питательной водой	16000	10000–14000	8000–10000	5000–8000	3000–6000	< 3000

**2.1.3. Нормы качества воды для подпитки тепловых сетей**

Нормы качества подпиточной воды для тепловых сетей с закрытой или открытой системой теплоснабжения, а также для стальных водогрейных котлов, принимаются по данным СНиП II-Г.10-62 «Тепловые сети. Нормы проектирования», приведенным в табл. 2.4.

Приведенная в табл. 2.4 карбонатная жесткость выше 0,7 мг-экв/кг допускается при окисляемости воды более 6 мг/кг O<sub>2</sub>. Нижний предел нормы карбонатной жесткости (0,4 мг-экв/кг) дан для водогрейных котлов с газомазутными топками, верхний (0,5 мг-экв/кг) – с пылеугольными и слоевыми топками. Нормы карбонатной жестко-

сти для промежуточных температур подогрева воды определяют интерполяцией.

Таблица 2.4

**Нормы качества воды для подпитки тепловых сетей**

Показатели	Открытая система теплоснабжения				Закрытая система теплоснабжения			
	при подогревателях с латунными трубками		при стальных водогрейных котлах		при подогревателях с латунными трубками		при стальных водогрейных котлах	
	Температура подогрева воды, °С							
	до 100	150	до 100	150	до 100	150	до 100	150
Растворенный кислород, мг/кг	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	0,05	0,05
Концентрация водородных ионов рН	7–8,5	7–8,5	7–8,5	7–8,5	7–9	7–9	7–9	7–9
Взвешенные вещества, мг/кг	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Жесткость карбонатная, мг-экв/кг	0,7–1,5	0,7	0,7–0,9	0,4–0,5	0,7–1,5	0,7	0,7–0,9	0,4–0,5
Жесткость общая при использовании непрерывной продувки котлов, мг-экв/кг	*	*	*	*	0,1	0,05	0,05	0,05

**Примечание.** Звездочка означает, что использование воды непрерывной продувки котлов не допускается.

Верхний предел норм значения рН воды для подпитки открытой системы теплоснабжения указан при обработке воды щелочными реагентами. Вода для подпитки открытой системы водяных тепловых сетей должна отвечать также требованиям ГОСТ 2874-54 «Вода питьевая». Отступление от ГОСТ 2874-54 по содержанию железа до 0,7–0,8 мг/кг и по прозрачности до 20 см по шрифту допускается по согласованию с местными органами саннадзора в следующих случаях: в период неполного освоения установок горячего водоснабжения – до 1–2 мес.; в период включения отопительных систем – до 7 дней; в период паводков.



Условная сульфатно-кальциевая жесткость подпиточной воды не должна превышать предельно допустимой величины, при которой исключается возможность выпадения из раствора  $\text{CaSO}_4$ .

Качество сетевой воды должно удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к качеству подпиточной воды. Должна быть обеспечена невозможность загрязнения обратной сетевой воды растворенным кислородом и солями жесткости. Карбонатная жесткость подпиточной воды при подогреве сетевой воды в чугунных секционных котлах принимается 0,7–1,5 мг-экв/кг. Жесткость общая и концентрация кислорода не нормируются.

Карбонатная жесткость выше 0,7 мг-экв/кг допускается при окисляемости воды более 6 мг/кг  $\text{O}_2$ . Горячее водоснабжение от котельных с чугунными секционными котлами осуществляется, как правило, через водо-водяные теплообменники по специальному трубопроводу. Подпиточная вода для сетей горячего водоснабжения должна отвечать нормам, приведенным в СНиП II-Г.10-62 для температуры подогрева воды до 100 °С.

## **2.2. Выбор схем обработки воды**

Выбор схем обработки воды проводится в зависимости от качества исходной воды, требований потребителей к обрабатываемой воде, санитарных требований и технико-экономических соображений. Химически обработанная вода в котельных установках используется на питание паровых и водогрейных котлов, на подпитку тепловых сетей с открытой и закрытой системами теплоснабжения и технологические нужды предприятий.

Водоснабжение котельной целесообразно осуществлять от хозяйственно-питьевого водопровода, так как вода в нем артезианская или поверхностная, прошедшая очистные сооружения, не требующая осветления. При выборе схем обработки воды рекомендуется применять методы, исключающие использование агрессивных реагентов, которые вызывают необходимость в специальной противокоррозийной защите оборудования, трубопроводов и арматуры и более сложны в аппаратурном оформлении и эксплуатации. Целесообразно осуществлять, по возможности, прямоточные схемы без промежуточного перекачивания воды. Для поверхностных вод следует перед проектированием осуществлять в лабораторных условиях пробную коагуляцию и обезжелезивание воды для выбора оптимальных условий проведения технологического процесса.

### 2.2.1. Расчетный метод выбора схем обработки воды

Основными критериями выбора схем обработки воды для паровых котлов являются: величина продувки котлов, относительная щелочность котловой воды и концентрация углекислоты в паре.

Величину продувки котлов по сухому остатку определяют в предварительных расчетах по выбору схем обработки воды по формуле:

$$p = \frac{S_{o.в} \Pi_k \cdot 100}{S_{к.в} - S_{o.в} \Pi_k}, \quad (2.3)$$

где  $p$  – величина продувки котлов по сухому остатку, %;

$\Pi_k$  – суммарные потери пара и конденсата в долях от паропроизводительности котельной;

$S_{o.в}$  – сухой остаток обработанной воды, мг/кг;

$S_{к.в}$  – сухой остаток котловой воды для принятого в проекте типа котла, мг/кг, принимают по паспортным или эксплуатационным данным.

Расчетная величина продувки котла не должна превышать для котлов с давлением: меньше или равным 13 ат – 10 %, 14–20 ат – 7 % и 20–39 ат – 5 % паропроизводительности котлов. Определение величины продувки ведется для режима максимальных потерь пара и конденсата, выраженных в процентах от паропроизводительности котельной. Для снижения величины продувки котлов рекомендуется улучшение сепарационных устройств – внутрибарабанные циклоны, ступенчатое испарение, ступенчатое испарение с выносными циклонами; усложнение схемы водоподготовки, обеспечивающее снижение содержания.

*Относительная щелочность котловой воды* равна относительной щелочности обработанной воды (разбавление конденсатом и концентрирование солей в котле не изменяет величину относительной щелочности) и определяется по формуле:

$$\text{Щ}_{от.к.в} = \text{Щ}_{от.о.в} = \frac{40\text{Щ}_{o.в} \cdot 100}{S_{o.в}}, \quad \%, \quad (2.4)$$

где  $\text{Щ}_{от.к.в}$  – относительная щелочность котловой воды, %;

$\text{Щ}_{от.о.в}$  – относительная щелочность обработанной воды, %;

$S_{o.в}$  – сухой остаток обработанной воды, мг/кг.

Щелочность обработанной воды следует принимать: для натрий-катионитных установок равной щелочности исходной воды; для схем коагуляции – натрий-катионирования – за вычетом из щелочности ис-

ходной воды дозы вводимого коагулянта; для схем с предварительным известкованием  $\sim 1$  мг-экв/кг; для водород-натрий-катионитных и аммоний-натрий-катионитных (условно) 0,5–0,7 мг-экв/кг, при водород-катионировании с «голодной» регенерацией фильтров 0,7–1,0 мг-экв/кг.

Высокая относительная щелочность обуславливает агрессивные свойства воды, которые могут вызвать межкристаллическую коррозию или так называемую каустическую хрупкость котельного металла при механическом и химическом перенапряжении котельного металла и при условии наличия неплотностей в котельных швах или местах вальцовки труб, где котловая вода может упариваться до концентрации едкого натра 5–10 %.

Величина относительной щелочности котловой воды для котлов, имеющих заклепочные соединения и работавших на давлении более 8 ат, не должна превышать 20 %. Для сварных котлов, работающих на давлении более 10 ат при относительной щелочности более 20 %, следует предусматривать обработку воды нитратами или аналогичными пассиваторами. При величине относительной щелочности более 50 % для сварных котлов следует предусматривать схемы обработки, снижающие щелочность исходной воды. Величина относительной щелочности для сварных котлов, работающих на давлении менее 10 ат, не нормируется.

Концентрация углекислоты в паре в расчетах по выбору схем обработки воды допускается не более 20 мг/кг. Для предотвращения углекислотной коррозии пароиспользующей аппаратуры и пароконденсатного тракта должны предусматриваться следующие мероприятия: дегазация конденсата в пароиспользующих аппаратах путем вентиляции их паровых объемов при содержании углекислоты в паре более 3–5 мг/кг; амминирование питательной воды из расчета 0,4 мг аммиака на 1 мг/кг свободной углекислоты (амминирование применяется при условии, если потребители пара допускают наличие в нем аммиака); применение схем обработки воды, позволяющих снизить содержание связанной углекислоты в исходной воде.

Концентрацию углекислоты в паре определяют при отсутствии деаэрации питательной воды или при использовании деаэраторов типа ДСА (без барботажа) по формуле

$$\text{CO}_2 = 22 \text{Щ}_{\text{о.в}} \alpha_{\text{о.в}} (1 + \sigma), \text{ мг/кг}, \quad (2.5)$$

где  $\text{CO}_2$  – концентрация углекислоты в паре, мг/кг;

$\text{Щ}_{\text{о.в}}$  – щелочность (бикарбонатная) обработанной воды, мг-экв/кг;

$\sigma$  – доля разложения  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  в котле при соответствующем давлении, принимается по графику (рис. 2.1);

$\alpha_{0,в}$  – доля обработанной воды в питательной.

Концентрацию углекислоты в паре при деаэрации с барботажем определяют по формуле

$$\text{CO}_2 = 22 \text{Щ}_{0,в} \alpha_{0,в} (\sigma_1 + \sigma), \text{ мг/кг}, \quad (2.6)$$

где  $\sigma_1$  – доля разложения  $\text{NaHCO}_3$  в котле, примерно равная 0,4 (60 % разложилось в барботажном деаэраторе).

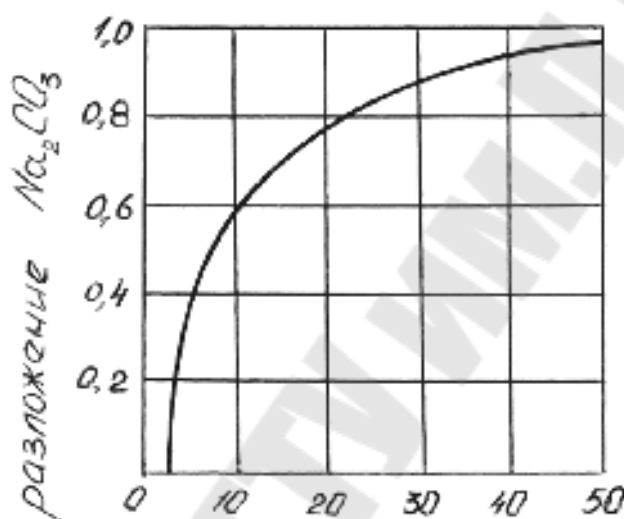


Рис. 2.1. Разложение  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в зависимости от давления

Выбор схемы обработки водопроводной воды для паровых котлов сводится к проверке возможности применения наиболее простой схемы натрий – катионирования по приведенным выше трем показателям. Если вода поверхностная (река, пруд и т. п.), необходимо, кроме того, предусматривать предварительное осветление и коагуляцию обрабатываемой воды.

Для приготовления питательной воды паровых котлов рекомендуются следующие схемы обработки воды:

а) *натрий-катионирование* – при водоснабжении котельной от хозяйственно-питьевого водопровода и если эта схема допустима по величине продувки котлов, относительной щелочности, концентрации углекислоты в паре; для экранированных котлов, требующих глубокого умягчения, применяют, как правило, двухступенчатое натрий-катионирование;

б) *натрий-катионирование с дозировкой нитратов в обработанную воду* (для условий, перечисленных в п. а), но при относительной щелочности обработанной воды от 20 до 50 %;

в) *водород-натрий-катионирование* параллельное или последовательное с «голодной» регенерацией водород-катионных фильтров – для обработки воды из хозяйственно-питьевого водопровода, когда требуется снижение щелочности, солесодержания и углекислоты в паре;

г) *аммоний-натрий-катионирование* – для обработки воды из хозяйственно – питьевого водопровода, когда требуется снижение щелочности, солесодержания котловой воды и концентрации углекислоты в паре, и одновременно допускается наличие в паре аммиака;

д) *натрий-хлор-ионирование* – для обработки воды хозяйственно-питьевого водопровода при необходимости снижения щелочности и концентрации углекислоты в паре, если величина продувки котлов не превышает норм;

е) *схемы, перечисленные в пп. а)–г), с предварительным осветлением и коагуляцией* для поверхностных вод;

ж) *известкование в осветлителях, фильтрование на механических фильтрах* для поверхностных вод, требующих осветления, коагуляции, снижения щелочности (удаления связанной углекислоты), обезжелезивания.

Для обезжелезивания артезианских вод, содержащих обычно железо в виде  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , рекомендуются схемы: аэрация-обезжелезивание на контактных фильтрах (с «черным» обмарганцованным песком) – осветление или аэрация-обезжелезивание на фильтре, загруженном кварцевым песком (с нанесенными на него окислами железа); для обезжелезивания поверхностных вод рекомендуются: коагуляция, известкование, хлорирование.

Для паровых котлов, допускающих внутрикотловую обработку, осуществляется соответствующая составу исходной питьевой воды дозировка щелочных реагентов в питательную воду, магнитная обработка воды или докотловое термохимическое умягчение исходной воды при обязательном удалении шлама.

### **2.2.2. Графический метод выбора схем обработки воды для паровых котлов типа ДКВР**

Для сокращения затрат времени при выполнении аналитических расчетов по выбору схем ниже приводится графический метод выбора схемы обработки воды для паровых котлов типа ДКВР. По графикам проверяется возможность применения для котлов ДКВР наиболее

простой схемы натрий-катионирования по трем показателям: продувке котлов по сухому остатку, относительной щелочности котловой воды и концентрации углекислоты в паре.

Приняты следующие обозначения:

$S_{и.в}$  – сухой остаток исходной воды, мг/кг;

$S_{к.в}$  – сухой остаток котловой воды, мг/кг;

$S_{о.в}$  – сухой остаток обработанной воды, мг/кг;

$\Delta S$  – увеличение сухого остатка исходной воды при обработке ее по схеме натрий-катионирования, мг/кг;

$Ж_{и.в}$  – общая жесткость исходной воды, мг-экв/кг;

$Ж_{к}$  – карбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/кг;

$Ж_{Ca}$  – кальциевая жесткость исходной воды, выраженная в процентах от общей жесткости;

$Ж_{Mg}$  – магниевая жесткость исходной воды, выраженная в процентах от общей жесткости;

$Щ_{от}$  – относительная щелочность, %;

$Щ_{и.в}$  – щелочность исходной воды, мг-экв/кг;

$Щ_{о.в}$  – щелочность обработанной воды, мг-экв/кг;

$Щ_{к.в}$  – щелочность котловой воды;

$\alpha_{о.в}$  – доля обработанной воды в питательной или, что то же, потери пара и конденсата в долях от паропроизводительности котельной.

Для графического выбора схемы обработки воды помимо качественных показателей исходной воды необходимы следующие данные: *тип котла*, чтобы установить, какими сепарационными устройствами оборудован котел, т. е. каким графиком пользоваться для определения величины продувки котлов ( $S_{к.в} = 3000$  мг/кг – график на рис. 2.2,  $S_{к.в} = 10000$  мг/кг – график на рис. 2.2); *тип деаэратора*: с барботажем пара или колонки типа ДСА без барботажа.

**Пример.** В котельной установлены котлы типа ДКВР-20-13, допускающие солесодержание котловой воды  $S_{к.в} = 10000$  мг/кг. Доля химически обработанной воды в питательной  $\alpha_{о.в} = 0,5$ ; деаэрация питательной воды проводится в барботажном деаэраторе. Исходная вода имеет качественные показатели:  $S_{и.в} = 1000$  мг/кг;  $Ж_{и.в} = 10$  мг-экв/кг;  $Ж_{к} = Щ_{и.в} = 7$  мг-экв/кг;  $Ж_{Ca} = 51$  % от  $Ж_{и.в}$ ;  $Ж_{Mg} = 49$  % от  $Ж_{и.в}$ .

По графику (Приложение 3) определяем величину  $\Delta S$ , на которую увеличивается сухой остаток воды при ее обработке по схеме *натрий-катионирования*. Для этого на оси ординат находим точку А, отвечающую величине *общей жесткости*  $Ж_{и.в} = 10$  мг-экв/кг, и проводим из нее параллельную оси абсцисс до пересечения с лучом, соответствующим

кальциевой жесткости  $Ж_{Ca} = 51 \%$  (точка Б). Из точки Б опускаем перпендикуляр на ось абсцисс, на которой дано увеличение *сухого остатка* при обработке воды по схеме *натрий-катионирования*: точка В –  $\Delta S = 70$  мг/кг. Следовательно, *сухой остаток воды*, обработанной по схеме *натрий-катионирования*,  $S_{o.в} = 1000 + 70 = 1070$  мг/кг.

По графику (Приложение 4) определяем возможность применения схемы *натрий-катионирования* по концентрации углекислоты в паре при условии деаэрации питательной воды в деаэраторе *барботажного* типа. Для этого из точки Ж на оси абсцисс, соответствующей доле обработанной воды в питательной  $\alpha_{o.в} = 0,5$ , восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с параллельной оси абсцисс, проведенной из точки Е, соответствующей *доле обработанной воды*, равной *щелочности исходной воды*, т. е.  $Щ_{o.в} = Щ_{и.в} = 7$  мг-экв/кг. Пересечение перпендикуляров, восстановленных из точек Ж и Е, дает точку И, которая, как видно, лежит в области применения схем обработки воды, которые снижают щелочность исходной воды, т. е. схема *натрий-катионирования* по содержанию углекислоты в паре неприменима.

По графику (Приложение 5) определяем возможность применения схемы *натрий-катионирования по относительной щелочности котловой воды*, исходя из того, что относительная щелочность при обработке воды по схеме *натрий-катионирования* соответствует равенству

$$Щ_{от.о.в} = Щ_{от.к.в}.$$

На оси ординат откладываем щелочность обработанной воды, исходя из равенства  $Щ_{o.в} = Щ_{и.в} = Щ_{к} = 7$  мг-экв/кг (точка К), и на оси абсцисс – *сухой остаток обработанной воды*, определенный по графику (Приложение 3),  $S_{o.в} = 1070$  мг/кг (точка Л). Восстанавливаем из точки К и Л перпендикуляры, точка пересечения М, как видно, лежит в области применения схемы *натрий-катионирования с нитратированием*.

Поскольку котел ДКВР-20-13 оборудован устройствами для двухступенчатого испарения и выносными циклонами, *сухой остаток котловой воды* допускается до 10000 мг/кг, поэтому величину продувки котла определяем по графику (Приложение 6). На оси ординат откладываем величину *сухого остатка обработанной воды*  $S_{o.в} = 1070$  мг/кг (точка Н); из точки Н проводим параллельную оси абсцисс до пересечения с лучом, соответствующим доле обработанной воды в питательной

$\alpha_{0,В} = 0,5$  (точка О). Из точки О опускаем перпендикуляр на ось абсцисс, на которой отложена величина продувки котлов в процентах (точка П). Как видно, величина продувки невелика, и по этому показателю можно было бы применить схему *натрий-катионирования*.

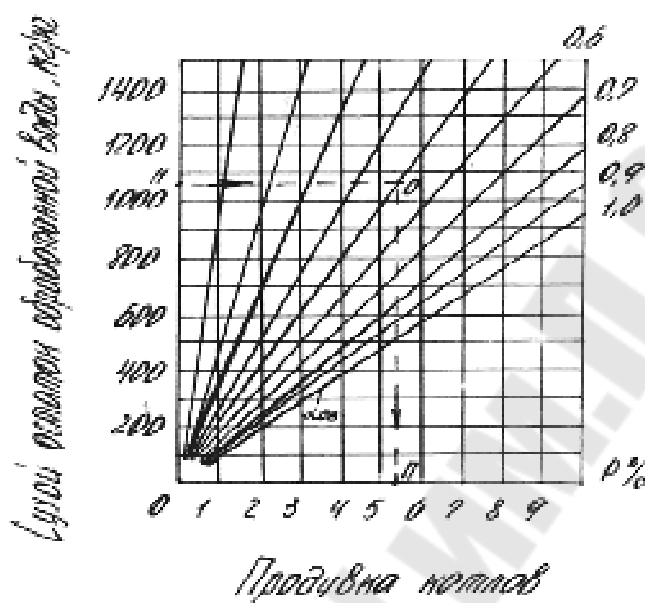


Рис. 2.2. Величина продувки котлов при  $S_{к,В} = 10000$  мг/кг

Таким образом, графическая проверка возможности применения схемы *натрий-катионирования* (для условий, приведенных в примере) показала, что по содержанию углекислоты в паре она не проходит, необходимо осуществить схему, снижающую содержание бикарбонатов в исходной воде. Для водопроводной воды такими схемами могут быть: *водород-натрий-катионирование*, *натрий-хлор-ионирование*, если в паре допустимо содержание аммиака, *натрий-катионирование с амминированием и нитратированием* либо *аммоний-натрий-катионирование*.

### 2.2.3. Выбор схем обработки воды для подпитки тепловых сетей

#### Закрытая система водоснабжения

Качество подпиточной воды для тепловых сетей с *закрытой системой теплоснабжения* должно соответствовать нормам, приведенным в табл. 2.4. В зависимости от качества исходной воды, в соответствии с нормами, подпиточная вода должна подвергаться: осветлению и коагуляции (если вода поверхностная), деаэрации, снижению карбонатной жесткости до 0,7–1,5 мг-экв/кг, а при подогреве сетевой воды в стальных водогрейных котлах – до 0,4 мг-экв/кг, т. е. по каче-



ству исходной воды и нормам подбираются соответствующие методы обработки, которые в совокупности составляют необходимую схему обработки воды.

Приготовление подпиточной воды для тепловых сетей с закрытой системой теплоснабжения рекомендуется вести по следующим схемам с последующей деаэрацией для воды из хозяйственно-питьевого водопровода с карбонатной жесткостью до 6 мг-экв/кг – путем *одноступенчатого натрий-катионирования* (остаточная общая жесткость фильтрата около 0,1 мг-экв/кг) при карбонатной жесткости исходной воды более 6 мг-экв/кг – путем *водород-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров* (остаточная карбонатная жесткость около 0,7–1,5 мг-экв/кг), для поверхностных вод – по схемам, указанным в п. а), *с предварительным осветлением и коагуляцией* либо *коагуляции с известкованием, осветлением* для стабилизации.

При частичной подпитке закрытых тепловых сетей продувочной водой котлов вся остальная подпиточная вода должна быть глубоко-умягченной: наиболее целесообразным в этом случае является осуществление натрий-катионирования. При небольшом расходе воды на подпитку тепловых сетей с закрытой системой теплоснабжения в котельных с паровыми котлами рационально в качестве подпиточной воды использовать питательную деаэрированную воду.

### ***Открытая система теплоснабжения***

Качество воды для подпитки сетей *с открытой системой теплоснабжения* должно соответствовать нормам, приведенным в табл. 2.4. Обработка воды для подпитки тепловых сетей с открытой системой теплоснабжения должна предусматривать: *осветление и коагуляцию* (для поверхностных вод), *снижение карбонатной жесткости до 0,7–1,5 мг-экв/кг*, а при подогреве воды в стальных водогрейных котлах – до 0,4 мг-экв/кг, *обеззараживание воды* (если на водоподготовительную установку подается вода непитьевого качества) и *деаэрацию*. Подпиточная вода должна удовлетворять ГОСТ 2874-54 на питьевую воду.

При обработке воды для тепловых сетей с открытой системой теплоснабжения рекомендуется применять следующие схемы обработки воды с последующей деаэрацией: *натрий-катионирование* – для вод хозяйственно-питьевого водопровода с карбонатной жесткостью, меньшей или равной 4 мг-экв/кг; *водород-катионирование с «голодной» регенерацией фильтров* – для вод хозяйственно-питьевого водопровода с карбонатной жесткостью более 4 мг-экв/кг; схемы, указанные в п. п. а) и б), *с предварительной коагуляцией и осветлени-*

ем – для поверхностных вод; известкование и коагуляция с последующим подкислением для стабилизации – для поверхностных вод, требующих снижения карбонатной жесткости.

Обеззараживание подпиточной воды достигается при ее термической деаэрации путем хлорирования или бактерицидного излучения.

### **3. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Контрольная работа состоит из одной задачи и ответов на три контрольных вопроса. Решение задач и ответы на вопросы должны сопровождаться ссылками на литературные источники, эскизами и схемами. Сканированные эскизы, вырезки из каталогов, инструкций, журналов и т. д. не засчитываются, тексты ответов на вопросы и решение задач должны быть согласованы с эскизами путем цифровых обозначений. Контрольная работа выполняется по варианту, номер которого совпадает с суммой двух последних цифр номера зачетной книжки студента. В конце работы указывается использованная литература, ставится подпись студента.

#### **3.1. Методика выполнения контрольной работы**

##### **При выполнении контрольной работы требуется:**

1. Выписать показатели качества исходной воды и произвести их перерасчет из мг/кг в мг-экв/кг.
2. Произвести выбор схемы водоподготовительной установки (ВПУ) и выполнить ее эскизное изображение.
3. Дать полное описание выбранной схемы.
4. Определить производительность ВПУ.
5. Проанализировать изменение показателей качества воды после отдельных стадий ее обработки.
6. Произвести расчет и выбор Na-катионитных фильтров.
7. Дать ответы на три контрольных вопроса.

#### **3.2. Перерасчет показателей качества исходной воды**

Для перерасчета показателей качества воды из мг/кг в мг-экв/кг используется понятие «эквивалент» вещества.

**Пример.** В исходной воде катионов  $\text{Ca}^{2+}$  содержится 102,0 мг/кг. Вычисляем эквивалент  $\text{Ca}^{2+}$  по выражению

$$\mathfrak{E} = \frac{M}{n},$$

где  $M$  – молекулярная масса кальция,  $M = 40,08$ ;  
 $n$  – валентность,  $n = 2$ ;

$$\mathfrak{E}^{\text{Ca}^{2+}} = \frac{40,08}{2} = 20,04 \text{ экв.}$$

$$\text{Ca}^{2+} = \frac{102,0}{20,04} = 5,09 \text{ мг-экв/кг и т. д.}$$

### 3.3. Выбор схемы ВПУ

Выбор способов обработки добавочной воды котлов производится в зависимости от качества исходной воды и типа котельного агрегата.

Водоподготовительные установки включают *предочистку* и *ионитную часть*. *Предочистка* состоит из осветлителей и осветлительных фильтров и служит для удаления их обрабатываемой воды грубодисперсных, коллоидных и частично молекулярно-дисперсных веществ. *Ионитная часть* схемы служит для полного удаления молекулярно-дисперсных веществ. Существует два вида предочистки:

1. При карбонатной жесткости  $J_k$  исходной воды менее 2 мг-экв/кг целесообразно применять коагуляцию воды сернокислым алюминием  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в осветлителе с последующим осветлением в осветлительных фильтрах.

2. При  $J_k$  исходной воды более 2 мг-экв/кг осуществляют коагуляцию сернокислым железом  $\text{FeSO}_4$  с известкованием в осветлителе с последующим осветлением в осветлительных фильтрах.

Дальнейшая обработка воды проводится на ионитной части ВПУ.

В зависимости от типа котлоагрегата и показателей качества исходной воды может быть выбрана одна из схем *обессоливания*:

- 1) упрощенная;
- 2) двухступенчатая;
- 3) трехступенчатая.

Если котел прямоточного типа, то, независимо от показателей качества исходной воды, обработка воды должна вестись по схеме трехступенчатого обессоливания, которая включает в себя *первую ступень Н-катионирования, слабоосновное анионирование, декарбонизацию, вторую ступень Н-катионирования, сильноосновное анио-*

нирование, третью ступень Н-катионирования и сильноосновное анионирование. Третья ступень чаще всего заменяется фильтром смешанного действия ФСД (Н<sub>1</sub>-А<sub>1</sub>-D-Н<sub>2</sub>-А<sub>2</sub> – ФСД).

Для котлов барабанного типа выбор схемы обессоливания зависит от суммы анионов сильных кислот ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $+\text{Cl}^-$ ,  $+\text{NO}_3^-$ ,  $+\text{NO}_2^-$ ) =  $\Sigma A_{\text{ск}}$ :

а) если  $\Sigma A_{\text{ск}} < 2$  мг-экв/кг, то выбирается схема *упрощенного химического обессоливания*, включающая: первую ступень Н-катионирования, вторую ступень Н-катионирования, декарбонизацию, сильноосновное анионирование (Н<sub>1</sub>-Н<sub>2</sub>-D-А<sub>2</sub>);

б) если  $\Sigma A_{\text{ск}} > 2$  мг-экв/кг, то выбирается схема *двухступенчатого химического обессоливания*, включающая: первую ступень Н-катионирования, слабоосновное анионирование, декарбонизацию, вторую ступень Н-катионирования, сильноосновное анионирование (Н<sub>1</sub>-А<sub>1</sub>-D-Н<sub>2</sub>-А<sub>2</sub>).

После выбора схемы выполняется ее эскизное изображение.

**Пример.** Схема упрощенного химического обессоливания с коагуляцией  $\text{FeSO}_4$  и известкованием (рис. 3.1).

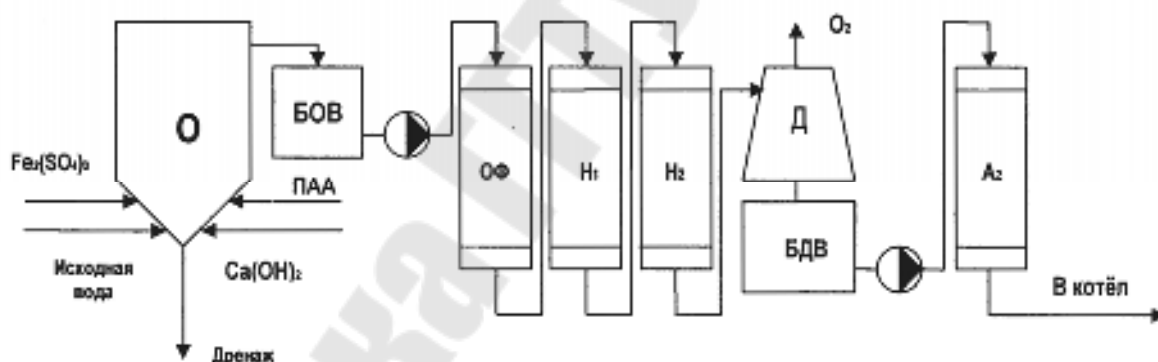


Рис. 3.1. Схема упрощенного химического обессоливания с коагуляцией  $\text{FeSO}_4$  и известкованием:

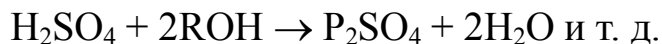
О – осветлитель; ОФ – осветлительный фильтр; БОВ – бак частично осветленной воды; Н<sub>1</sub>, Н<sub>2</sub>, А<sub>2</sub> – ионитные фильтры; Д – декарбонизатор; БДВ – блок декарбонизированной воды

### 3.4. Описание выбранной схемы

Описание должно включать подробное назначение каждого этапа обработки исходной воды, начиная с предочистки, применяемые реагенты, материалы загрузки фильтров, реакции, протекающие при работе и регенерации.

**Пример.** Фильтр первой степени анионирования служит для удаления из обрабатываемой воды анионов сильных кислот. Загружен слабоосновным анионитом марки АН-31.

Реакции, протекающие при работе фильтра:



Регенерацию проводят 4-процентным раствором едкого натра NaOH:



### 3.5. Паровой баланс котельной

Водоподготовительная установка предназначена для приготовления воды, идущей на питание паровых котлов (добавок, восполняющий потери пара и конденсата) и для подпитки тепловых сетей с открытой системой водоснабжения (температура подогрева сетевой воды 150 °С).

В ходе выполнения контрольной работы необходимо составить баланс котельной в виде табл. 3.1.

Таблица 3.1

**Пароводяной баланс котельной**

Расходы	Максимально зимний режим
Паропроизводительность котельной, т/ч	
Расход пара на производство, т/ч	
Потери на производстве, т/ч	
Потери на разогрев мазута, т/ч	
Потери в котельной, т/ч	
Суммарные потери пара и конденсата, т/ч	
Потери в деаэраторе подпиточной воды, т/ч	
Потери с выпаром в деаэраторе, т/ч	

### 3.6. Производительность водоподготовительной установки

Расход химически обработанной воды на питание паровых котлов складывается из потерь пара и конденсата. При этом учитывается возможность недовозврата 20 % конденсата и 3 % продувка котлов, 20 % от потерь на производство, 3 % от паропроизводительности котельной.

Производительность водоподготовительной установки складывается из следующих расходов воды:

Расход воды на питание паровых котлов

Расход воды на подпитку теплосетей

Расход воды на горячее водоснабжение

---

Общий расход химически обработанной воды

### **3.7. Расчет основного оборудования водоподготовительных установок**

Расчет оборудования ВПУ необходимо начинать с хвостовой части, поскольку головная часть установки должна пропустить дополнительное количество воды.

#### **3.7.1. Осветлители**

Процесс осветления в осветлителях может осуществляться в зависимости от качества исходной воды при различных схемах ее обработки: а) *осветления* – при количестве взвешенных веществ более 00 мг/кг и окисляемости менее 15 мг/кг; б) *осветления-коагуляции* – при количестве взвешенных веществ более 100 мг/кг и окисляемости более 15 мг/кг; в) *известкования* – при количестве взвешенных веществ более 100 мг/л и необходимости снижения щелочности (декарбонизации) и солесодержания исходной воды, а также обезжелезивания поверхностной воды; г) *известкования-коагуляции* – при условиях, перечисленных в пп. б) и в).

Основные расчетные параметры осветлителей зависят от таких факторов: свойств исходной воды, методов ее обработки, температуры подогрева воды, размеров аппарата и других данных, определяемых экспериментальным путем или при технологических испытаниях аналогичных аппаратов, работающих в определенных условиях; поэтому осветлители следует подбирать по производительности, определяемой по среднечасовому расходу воды, который учитывает полную производительность водоподготовительной установки и расход осветленной воды на собственные нужды с учетом продувки самого осветлителя.

В водоподготовительных установках котельных, как правило, принимают конструкции осветлителей типа ЦНИИ МПС, работающих со взвешенным шламовым фильтром, количество которого определяется в зависимости от качества исходной воды и схемы ее обработки.

Количество шлама, образующегося при коагуляции, приближенно определяют по формуле

$$Q_{\text{ш}}^{\text{H}} = B + 26D_{\text{a}} + \frac{111\alpha D_{\text{a}}}{100}, \text{ г/м}^3, \quad (3.1)$$

где  $Q_{\text{ш}}^{\text{H}}$  – количество шлама, образующегося при коагуляции воды, г/м<sup>3</sup>;

$B$  – количество взвешенных веществ в исходной воде, г/м<sup>3</sup>;

$D_{\text{a}}$  – доза коагулянта – сернокислого алюминия в обрабатываемую воду, г-экв/м<sup>3</sup>;

$\alpha_{\text{H}}$  – количество нерастворенных примесей в коагулянте, %.

Количество шлама, образующегося при известковании и коагуляции воды, определяют по формуле

$$Q_{\text{ш}}^{\text{H}} = B + 50[\text{Ж}_{\text{Ca}} + (1 + 0,56\alpha_{\text{H}})D_{\text{к}}] + 53D_{\text{к}} + 29\text{Ж}_{\text{Mg}}, \text{ г/м}^3, \quad (3.2)$$

где  $Q_{\text{ш}}^{\text{H}}$  – количество шлама, образующегося при обработке воды по схеме известкования с коагуляцией, г/м<sup>3</sup>;

$\text{Ж}_{\text{Ca}}$  – кальциевая жесткость, удаляемая известкованием, мг-экв/кг;

$D_{\text{к}}$  – доза коагулянта – сернокислого железа ( $\text{FeSO}_4$ ), мг-экв/кг;

$\text{Ж}_{\text{Mg}}$  – магниевая жесткость, удаляемая известкованием, мг-экв/кг; осаднение магния предусматривают, если  $\text{HCO}_3 > \text{Ж}_{\text{Ca}}$ .

Содержание взвешенных веществ (шлама) после осветлителя при нормальной эксплуатации не превышает 10–12 мг/кг. После осветлителей, как правило, обрабатываемая вода поступает на осветлительные фильтры для полного удаления взвешенных веществ.

Перед осветлителем вода должна подогреваться при коагуляции до 20 °С (для предохранения оборудования от запотевания), при известковании – до 25–30 °С. Колебания температуры не должны превышать ±1 °С в час для нормальной работы взвешенного шламового фильтра. Для обеспечения постоянной температуры обрабатываемой воды подогрев ее следует автоматизировать.

При применении осветлителей со взвешенным шламовым фильтром вода, поступающая на осветлитель, должна предварительно освобождаться от пузырьков воздуха, для этого предусматривается установка воздухоотделителя (если он не предусмотрен в конструкции осветлителя). Площадь воздухоотделителя рассчитывается на скорость нисходящего потока не более 0,05 м/с и время пребывания в нем не менее 1 мин.

Подвод воды в осветлитель осуществляется через тангенциально расположенные сопла в конусную часть аппарата. Создаваемое тангенциальным подводом вращательное движение способствует перемешиванию обрабатываемой воды с реагентом и взвешенным шламом, образующим центры кристаллизации.

В конусной части аппарата происходят реакции осаждения (кальция, магния, железа) и образование хлопьев коагулянта. Кристаллизация образующихся осадков заканчивается в слое взвешенного шлама, являющегося фильтром для осветляемой воды.

При конструировании типовых осветлителей принимают примерно приведенные ниже основные расчетные данные.

### ***В схемах коагуляции воды***

Скорость выхода воды из сопел при температуре 20–25 °С: 0,6–0,7 м/с при мутности воды до 500 мг/кг; 0,8–1,0 м/с при мутности воды более 500 мг/кг.

Скорость восходящего потока воды в осветлителе при коагуляции сернокислым алюминием не более 0,7 мм/с при мутности до 25 мг/кг; 1–1,1 мм/с при мутности более 25 мг/кг.

Общая длительность пребывания обрабатываемой воды в осветлителе 1,25–1,75 ч.

### ***В схемах известкования воды***

Скорость ввода обрабатываемой воды в осветлитель по данным ЦНИИ МПС 1,5–2,0 м/с при  $\alpha_m = 10\text{--}25\%$ , 0,5 – 0,75 м/с при  $\alpha_m > 25\%$ , где  $\alpha_m$  – весовое отношение в выделяющемся осадке содержания магниевых солей в пересчете на  $Mg(OH)_2$  и кальциевых солей в пересчете на  $CaCO_3$ , определяемое по формуле

$$\alpha_m = 58 \frac{\text{Щ}_{\text{и.в}} \text{Ж}_{\text{Ca}}}{2\text{Щ}_{\text{и.в}} + \text{CO}_2 + D_k - \text{Ж}_{\text{Ca}}^{\text{ост}}}, \quad \%, \quad (3.3)$$

где  $\text{Щ}_{\text{и.в}}$  – щелочность исходной воды, мг-экв/кг;

$\text{CO}_2$  – количество свободной углекислоты в исходной воде, мг-экв/кг;

$\text{Ж}_{\text{Ca}}$  и  $\text{Ж}_{\text{Ca}}^{\text{ост}}$  – кальциевая жесткость соответственно исходной и обработанной воды, мг-экв/кг.

При известковании расчетная скорость движения воды в зоне осветления при оптимальной температуре 25–30 °С принимается по данным ЦНИИ МПС в зависимости от  $\alpha_m$ , наличия или отсутствия коагуляции и общего количества выделяющегося шлама  $Q_{\text{ш}}^{\text{И}}$  (табл. 3.2).



Расчетная скорость движения воды в зоне осветления

Расчетная скорость, мм/с	$Q_{\text{ш}}^{\text{н}}$	$\alpha_{\text{м}}$	Схема обработки
1,7	0,5	0,1	Коагуляция-известкование
1,07	0,5	0,3	Коагуляция-известкование
1,47	2,0	0,1	Коагуляция-известкование
0,9	2,0	0,3	Коагуляция-известкование
1,95	0,5	0,1	Известкование
1,1	0,5	0,3	Известкование
1,7	2,0	0,1	Известкование
0,85	2,0	0,3	Известкование

Общая длительность пребывания обрабатываемой воды в осветлителе при оптимальной температуре 25–30 °С составляет 1,0–1,5 ч.

Образующийся в осветлителе шлам отводится через специальные устройства в шламоуплотнитель. Уплотнение шлама в сильной степени зависит от свойств самих осадков. Так, легкие хлопья гидроксида коагулянта с адсорбированной на них органикой значительно труднее уплотняются, чем кристаллический осадок карбоната кальция, а тяжелые частички песка оседают быстрее карбоната кальция.

Удаление шлама из осветлителя рекомендуется производить непрерывно. Шлам следует разбавлять водой (подаваемой в трубопровод под давлением) для удобства транспортировки его до места сброса (каналы гидрозолоудаления, шламовые площадки и т. п.).

Величину продувки осветлителя определяют по формуле:

$$P = \frac{Q_{\text{ш}} - Q_{\text{о.в}}}{1000 \delta_{\text{ср}}} 100 \%, \quad (3.4)$$

где  $P$  – величина продувки осветлителя, % от производительности осветлителя;

$Q_{\text{ш}}$  – количество взвешенных веществ, вносимых с обрабатываемой водой реагентами и образующих в процессе осветления или умягчения, определяют по формулам (3.1) и (3.2), г/м<sup>3</sup>;

$Q_{\text{о.в}}$  – остаточное содержание взвешенных веществ в обработанной воде после осветлителя, г/м<sup>3</sup>;

$\delta_{\text{ср}}$  – средняя концентрация взвешенных веществ в уплотненном осадке в зависимости от времени отстоя воды, принимают по табл. (3.3), г/кг.

Количество воды, подаваемой на осветлитель,

$$Q = Q_{\text{осв}} + \frac{PQ_{\text{осв}}}{100}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.5)$$

где  $Q$  – количество воды, подаваемое на осветлитель,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , с учетом собственных нужд осветлителя;

$Q_{\text{осв}}$  – производительность осветлителя (количество выдаваемой осветлителем воды),  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Таблица 3.3

**Средняя концентрация взвешенных веществ  
в уплотненном осадке, г/кг**

Характеристика осадка	Продолжительность уплотнения, ч					
	2	3	4	6	8	12
Осадок, образующийся при коагуляции воды с содержанием взвешенных веществ, мг/кг:						
100 – 400	16	19	22,5	24	25	27
400 – 1000	20	24	25	27	29	31
выше 1000	24	29	31	33	35	37
Осадок, образующийся при известковании воды с малой (до 25 %) магниезальной жесткостью	30	35	37	39	40	41
с высокой магниезальной жесткостью	6	8	10	12	15	17

### 3.7.2. Осветлительные фильтры

В качестве *осветлительных* фильтров в водоподготовительных установках котельных применяют типовые напорные однопоточные фильтры, загруженные дробленым антрацитом или кварцевым песком. Последний рекомендуется применять только в случае необходимости установки двухслойного фильтра, поскольку песок требует значительно большей интенсивности промывки.

Количество фильтров при производительности установки до  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$  следует принимать не менее двух при периодической работе установки и при круглосуточной работе и производительности более  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$  – не менее трех. Увеличение скорости фильтрования при промывке одного из них допускается не более чем на 30 %.

В расчете рассматриваются два режима работы фильтров: *нормальный*, предусматривающий работу фильтров с периодическим отключением одного из них на промывку; *форсированный*, предусмат-

ривающий отключение одного фильтра на ремонт и периодическое отключение другого фильтра на промывку.

Отмывка фильтров или сброс в дренаж первого фильтрата осуществляется только при взрыхляющей промывке их неосветленной водой. Сброс первого фильтрата принимают со скоростью 4 м/ч в течение 10 мин.

Взрыхляющую промывку фильтрующей загрузки допускается производить с применением сжатого воздуха, если это технически и экономически обосновано.

Расчет фильтров выполняют исходя из производительности, учитывающей расход осветленной воды на собственные нужды всех установленных фильтров. Основные технологические данные, необходимые для расчета фильтров, приведены в табл. 3.4.

Общую площадь фильтрования приближенно определяют по формуле

$$F = \frac{Q \cdot a}{\omega_n}, \text{ м}^2, \quad (3.6)$$

где  $Q$  – производительность фильтров по осветленной воде, м<sup>3</sup>/ч;

$a$  – коэффициент, учитывающий расход осветленной воды на собственные нужды осветлительных фильтров; для фильтров, промываемых осветленной водой и загруженных антрацитом, в зависимости от числа промывок в сутки (1–2 раза), коэффициент  $a$  принимают равным 1,03–1,1;

$\omega_n$  – скорость фильтрования при нормальном режиме работы фильтров, принимают по табл. 3.4.

Таблица 3.4

**Технологические данные для расчета осветлительных фильтров**

№ пп	Показатели	Типы фильтров	
		Фильтр с загрузкой антрацитом	Фильтр с двухслойной загрузкой – песком и антрацитом
1	Диаметр зерен загрузочного материала, мм:		
	– антрацит	0,5–1,2	0,8–1,8
	– кварцевый песок	–	0,5–1,2
2	Высота фильтрующего слоя, м:		
	– антрацит	1	0,4–0,5
	– кварцевый песок	–	0,4–0,5

№ пп	Показатели	Типы фильтров	
		Фильтр с загрузкой антрацитом	Фильтр с двухслойной загрузкой – песком и антрацитом
3	Насыпной вес фильтрующего материала, т/м <sup>3</sup> :		
	– антрацит	0,8	0,8
	– кварцевый песок	–	1,6
4	Расчетная скорость фильтрования, м/ч:		
	– нормальный режим	6	10
	– форсированный режим	7,5	12
5	Интенсивность взрыхляющей промывки водой, л/с·м <sup>2</sup>	10–12	13–15
6	Продолжительность взрыхляющей промывки водой, мин	6–5	7–6
7	Расход осветленной воды на одну промывку, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	3,6	5,4
8	Интенсивность взрыхляющей промывки воздухом, л/с·м <sup>2</sup>	12	20
9	Продолжительность взрыхляющей промывки воздухом, мин	3	3
10	Расход воздуха на одну промывку, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	2,2	3,6
11	Давление воздуха, кгс/см <sup>2</sup>	3–4	3–4

**Примечание.** Большим значениям интенсивности промывки, приведенным в таблице, соответствует меньшая продолжительность взрыхляющей промывки.

Расчетную площадь фильтрования каждого фильтра определяют путем подбора по формуле

$$f' = \frac{F}{n-1}, \text{ м}^2, \quad (3.7)$$

где  $n$  – число фильтров, подставляют, начиная с наименьшего значения, равного 2; полученное значение площади фильтрования одного фильтра округляют в сторону увеличения в соответствии с серийно выпускаемыми заводами фильтрами по данным табл. 3.5.

Таблица 3.5

Площадь фильтрования стандартных фильтров,  $f$ 

Диаметр фильтра, мм	700	1000	1500	2000	2600	3000	3400
Площадь фильтрования, м <sup>2</sup>	0,39	0,76	1,72	3,1	5,2	6,95	9,1

Расчетную скорость фильтрования при нормальном режиме работы фильтров определяют по формуле

$$\omega_n = \frac{Q + q}{f(n-1)}, \text{ м/ч,} \quad (3.8)$$

где  $q$  – среднечасовой расход воды на собственные нужды осветлительных фильтров, м<sup>3</sup>/ч, определяют по формуле

$$q = \frac{drn}{24}, \quad (3.9)$$

где  $d$  – расход воды на одну промывку фильтра, м<sup>3</sup>; при взрыхляющей промывке осветленной водой принимают по табл. 3.6;

$r$  – число промывок каждого фильтра в сутки, принимают 1–2 раза в сутки;

$n$  – число принятых фильтров;

1 – число фильтров, находящихся в промывке.

Расчетную скорость фильтрования при форсированном режиме определяют по формуле

$$\omega_\phi = \frac{Q + q}{f(n-2)}, \text{ м/ч,} \quad (3.10)$$

где 2 – число отключенных фильтров (один – в ремонте, один – в промывке).

Таблица 3.6

## Расчетные показатели для взрыхления однопоточных антрацитных осветлительных фильтров

Расчетные показатели	Диаметры стандартных фильтров, мм						
	700	1000	1500	2000	2600	3000	3400
Расход воды на взрыхляющую промывку (при интенсивности взрыхления 12 л/с·м <sup>2</sup> ), м <sup>3</sup>	1,4	2,7	6,2	11,2	18,7	25,0	32,0
Часовой расход воды на взрыхление, м <sup>3</sup> /ч	17	33	74	134	225	300	385
Объем промывочного бачка, м <sup>3</sup>	2	4	8	15	24	33	42

Если расчетная скорость фильтрования при форсированном режиме оказывается больше допустимой, необходимо соответственно уменьшить принятое расчетное значение скорости при нормальном режиме.

### **3.7.3. Натрий-катионитные фильтры**

Умягчение воды путем натрий-катионирования можно осуществлять по *одноступенчатой* либо по *двухступенчатой* схеме – последовательное фильтрование через фильтр первой и затем второй ступеней.

Схема одноступенчатого катионирования имеет следующие недостатки: для получения фильтрата с жесткостью до 0,1 мг-экв/кг возможно умягчение исходной воды с жесткостью не более 7 мг-экв/кг, практически невозможно получение глубокого умягчения воды с остаточной жесткостью 0,01–0,02 мг-экв/кг; относительно высокий расход соли на регенерацию фильтров; неполное использование емкости поглощения катионита; необходимость тщательного контроля за «проскоком» солей жесткости, количество которых после «проскока» нарастает в фильтрате сравнительно быстро. При двухступенчатом катионировании перечисленные недостатки устраняются.

Число ступеней катионирования определяется требованиями к качеству умягчаемой воды. Например, приготовление воды для паровых экранированных котлов, требующих глубокого умягчения, ведется путем двухступенчатого натрий-катионирования; для теплосетей, требующих снижения карбонатной жесткости до 0,7 мг-экв/кг, достаточно одноступенчатого натрий-катионирования.

Количество натрий-катионитных фильтров первой ступени, если установка работает круглосуточно, принимают не менее двух и, кроме того, один резервный. На второй ступени катионирования устанавливают обычно два фильтра специальной конструкции с высотой слоя катионита 1,5 м. В небольших водоподготовительных установках из соображений сокращения количества устанавливаемого оборудования и его унификации допускается применение для второй ступени фильтра конструкции первой ступени. При этом устанавливают не менее четырех фильтров, из них два – первой ступени, один – второй ступени и один – резервный, используемый обычно для работы на второй ступени в период регенерации основного фильтра, и в качестве резервного – при ремонте одного из фильтров.

Исходными данными для расчета натрий-катионитных фильтров являются их производительность, общая жесткость воды, поступающей на фильтры, и остаточная жесткость фильтрата (после натрий-катионирования).

Основные показатели для расчета натрий-катионитных фильтров приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

**Технологические данные для расчета  
натрий-катионитных фильтров**

Показатели	Размерность	Фильтры первой степени	Фильтры второй степени
Высота слоя катионита	м	2–2,5	1,5
Крупность зерен катионита	мм	0,5–1,1	0,5–1,1
Скорость фильтрования нормальная, в скобках максимальная (при регенерации одного из фильтров) при жесткости, мг-экв/кг:			
до 5	м/ч	25 (35)	40 (50)
до 10	м/ч	15 (25)	–
до 15	м/ч	10 (20)	–
Потери напора на фильтрах при скорости фильтрования (в скобках – при загрузке мелкого катионита с крупностью зерен 0,3–0,8 мм), м/ч:			
10	м вод. ст.	5 (6)	–
20	м вод. ст.	5 (7)	–
30	м вод. ст.	6 (9)	–
40	м вод. ст.	7 (11)	13
60	м вод. ст.	9 (14)	14
Взрыхляющая промывка катионита:			
– интенсивность	л/м <sup>2</sup> ·с	4*	4
– продолжительность	мин	15	15
Удельный расход поваренной соли на регенерацию сульфогля при жесткости обрабатываемой воды, мг-экв/кг:			
до 5	г/г-экв	120–150	300–400
до 10	г/г-экв	120–200	
до 15	г/г-экв	170–250	
до 20	г/г-экв	200–250	
Крепость регенерационного раствора	%	5–8	8–12
Скорость пропуска регенерационного раствора	м/ч	3–4	3–5
Рабочая обменная способность сульфогля	г-экв/м <sup>3</sup>	По формуле или по табл.	

Показатели	Размерность	Фильтры первой ступени	Фильтры второй ступени
Отмывка катионита от продуктов регенерации:			
а) скорость пропуска отмывочной воды через катионит	м/ч	6–8	6–8
б) удельный расход отмывочной воды	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	4	4
Общий удельный расход воды на регенерацию сульфогля:			
а) без использования отмывочной воды на взрыхление	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	5,8	6,5
б) с использованием отмывочной воды на взрыхление	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	5,0	5,0
Общая длительность регенерации фильтра	ч	2	2

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

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

Расчет натрий-катионитного фильтра начинают с подбора диаметра фильтра по скорости фильтрования, которую определяют по формулам:

нормальная

$$\omega_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{Na}}}{F e_{\text{Na}} a}, \text{ м/ч}, \quad (3.11)$$

максимальная

$$\omega_{\text{м}} = \frac{Q_{\text{Na}}}{F_{\text{Na}} (a - 1)}, \text{ м/ч}, \quad (3.12)$$

где  $\omega_{\text{н}}$ ,  $\omega_{\text{м}}$  – скорости фильтрования нормальная и максимальная, м/ч, принимают в зависимости от жесткости умягчаемой воды по табл. 3.7;

$Q_{\text{Na}}$  – производительность натрий-катионитных фильтров, м<sup>3</sup>/ч;

$F_{\text{Na}}$  – площадь фильтрования натрий-катионитного фильтра, м<sup>2</sup>; для выпускаемых заводами фильтров принимают по табл. 3.5;

$a$  – количество работающих фильтров, принимают не менее двух, кроме того, один – резервный, который в расчете не учитывается;

$a - 1$  – число фильтров при регенерации одного из них.



Для мягких вод скорость фильтрования является решающим фактором при подборе соответствующего диаметра фильтра; для вод с повышенной жесткостью при допускаемой скорости фильтрования число регенераций может получаться недопустимо большим, при этом следует выбирать диаметр фильтра по числу регенераций.

Количество солей жесткости, удаляемых на натрий-катионитных фильтрах в сутки, определяют по формуле

$$A = 24J_0 Q_{Na}, \text{ г-экв/сутки}, \quad (3.13)$$

где  $J_0$  – общая жесткость воды, поступающей на натрий-катионитный фильтр, г-экв/м<sup>3</sup>.

На натрий-катионитные фильтры первой ступени может поступать вода с жесткостью, равной жесткости исходной воды, или частично умягченная после водород-катионирования или известкования. На натрий-катионитные фильтры второй ступени обычно поступает вода с остаточной жесткостью фильтра до 0,1 мг-экв/кг.

Число регенераций каждого фильтра в сутки определяют по формуле

$$n = \frac{A}{F_{Na} h E_{pNa} a}, \text{ раз/сутки}, \quad (3.14)$$

где  $n$  – число регенераций каждого фильтра первой ступени в сутки рекомендуется принимать один раз (но не более трех);

$h$  – высота слоя катионита, м;

$a$  – число работающих фильтров;

$E_{pNa}$  – рабочая обменная способность катионита при натрий-катионировании, г-экв/м<sup>3</sup>.

Рабочую способность катионита при натрий-катионировании определяют по формуле

$$E_{pNa} = \alpha_3 \beta_{Na} E_{п} - 0,5qJ_0, \quad (3.15)$$

где  $\alpha_3$  – коэффициент эффективности регенерации, учитывающий неполноту регенерации катионита в зависимости от удельного расхода соли на регенерацию, принимают по Приложению 1;

$\beta_{Na}$  – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита по  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  за счет частичного задержания катионов  $Na^+$ , принимают по Приложению 2, где по данным ВОДГЕО даны значения  $\beta_{Na}$  в зависимости от отношения

$\frac{C_{Na}^2}{J_0}$ ;

$C_{Na}$  – концентрация натрия в умягчаемой воде, мг-экв/кг;

$E_n$  – полная обменная способность катионита, г-экв/м<sup>3</sup>; для сульфогля в расчетах можно принять: при крупности зерен 0,3–0,8 мм  $E_n = 550$  г-экв/м<sup>3</sup>, при крупности зерен 0,5–1,1 мм  $E_n = 500$  г-экв/м<sup>3</sup>;

$q$  – удельный расход воды на отмывку катионита принимают обычно равным 4 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

0,5 – доля умягчения отмывочной воды.

В табл. 3.8 приведена подсчитанная по формуле (3.15) рабочая обменная способность сульфогля при натрий-катионировании в зависимости от общей жесткости исходной воды, содержания в ней солей натрия и удельного расхода соли на регенерацию.

Таблица 3.8

**Рабочая обменная способность сульфогля при натрий-катионировании, г-экв/м<sup>3</sup>**

		Общая жесткость поступающей на фильтры воды, мг-экв/кг							
		5		10		15		20	
		Фракционный состав сульфогля, мм							
		0,3–0,8	0,5–1,1	0,3–0,8	0,5–1,1	0,3–0,8	0,5–1,1	0,3–0,8	0,5–1,1
1	120	330	300	320	290	310	280	300	270
	150	370	330	360	320	350	310	340	300
	200	400	360	390	360	380	350	370	330
10	120	310	280	320	290	260	240	240	220
	150	350	310	350	320	290	260	280	250
	200	390	340	390	350	330	290	310	270
50	120	220	200	200	180	180	160	150	130
	150	250	220	220	200	200	180	170	150
	200	270	250	250	220	220	200	190	170
	250	290	260	260	240	240	210	200	180

Межрегенерационный период работы фильтра определяют по формуле

$$T = \frac{24}{n} - t_{\text{рег}}, \text{ ч}, \quad (3.16)$$

где  $T_{\text{рег}}$  – время регенерации натрий-катионитного фильтра, принимают равным около 2 ч.

Количество одновременно регенерируемых натрий-катионитных фильтров определяют по формуле

$$n_{o.p} = \frac{nat_{per}}{24}, \quad (3.17)$$

где  $n_{o.p}$  – количество одновременно регенерируемых фильтров;  
 $n$  – суточное количество регенерации каждого фильтра;  
 $a$  – количество одновременно работающих фильтров.

Совпадение регенераций фильтров будет иметь место при величине  $na > 12$ .

Проверку совпадения регенераций и соответственно поправку в определении максимальной скорости фильтрования следует производить при числе регенераций каждого фильтра около 3 раз в сутки и одновременной работе более четырех фильтров.

Расход 100 % соли на одну регенерацию определяют по формуле

$$Q_c = \frac{E_{pNa} F_{Na} h q_c}{1000}, \text{ кг}, \quad (3.18)$$

где  $Q_c$  – расход поваренной соли на одну регенерацию фильтра, кг;

$F_{Na}$  – площадь фильтрования натрий-катионитного фильтра, м<sup>2</sup>;

$h$  – высота слоя сульфогля, м,

$q_c$  – удельный расход соли на регенерацию, г/г экв, обменной способности катионита.

Удельный расход соли на регенерацию принимают в зависимости от жесткости умягчаемой воды и концентрации в ней солей натрия.

Принятый удельный расход соли должен обеспечить заданную остаточную жесткость фильтрата и целесообразную обменную способность катионита. Остаточную жесткость фильтрата, в зависимости от общей жесткости исходной воды и удельного расхода соли, принимают по графику на рис. 3.2.

Суточный расход технической соли определяют по формуле

$$Q_{c.c} = \frac{Q_c na \cdot 100}{96,5}, \quad (3.19)$$

где  $Q_{c.c}$  – расход технической соли на регенерацию фильтров, кг/сут;

96,5 – содержание NaCl в технической соли, %.

Расход воды на регенерацию натрий-катионитного фильтра сла-  
гается из:

а) расхода воды на взрыхляющую промывку фильтра

$$Q_{\text{взр}} = \frac{iF_{\text{Na}} \cdot 60t_{\text{взр}}}{1000}, \quad (3.20)$$

где  $Q_{\text{взр}}$  – количество воды на одну взрыхляющую промывку фильтра, м<sup>3</sup>;  
 $i$  – интенсивность взрыхляющей промывки фильтров, л/сек · м<sup>2</sup>,  
принимают по табл. 3.7;

$t_{\text{взр}}$  – продолжительность взрыхляющей промывки, мин, при-  
мают по табл. 3.7.

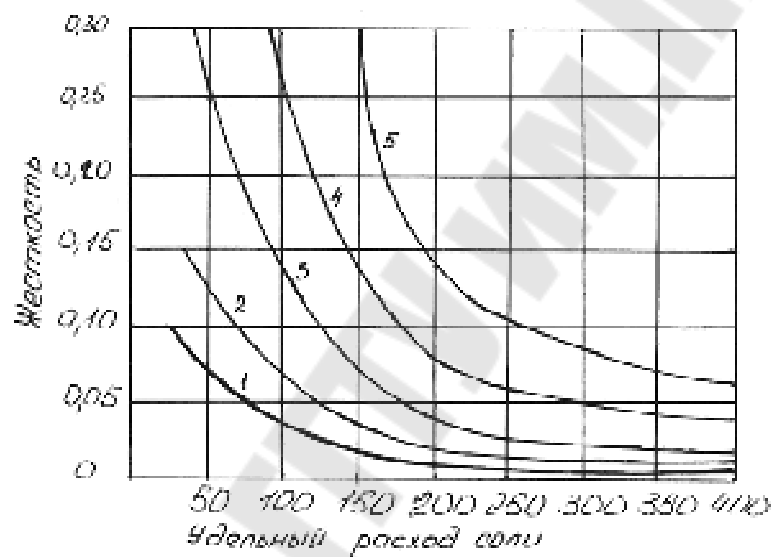


Рис. 3.2. Жесткость фильтрата при различных удельных расходах соли и концентрации катионов в исходной воде

**Концентрация катионов в исходной воде, мг-экв/кг:**  
1–5; 2–7; 3–10; 4–15; 5–20

б) расхода воды на приготовление регенерационного раствора соли:

$$Q_{\text{р.с}} = \frac{Q_{\text{с}} \cdot 100}{1000 b \gamma_{\text{р.р}}} \quad (3.21)$$

где  $Q_{\text{р.с}}$  – расход воды на приготовление регенерационного раствора соли, м<sup>3</sup>;

$b$  – концентрация регенерационного раствора, % (см. табл. 3.7);

$\gamma_{\text{р.р}}$  – удельный вес регенерационного раствора, т/м<sup>3</sup> (см. справочную литературу);

в) расхода воды на отмывку катионита от продуктов регенерации:

$$Q_{от} = q_{от} F_{Na} h, \quad (3.22)$$

где  $Q_{от}$  – расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации,  $m^3$ ;

$q_{от}$  – удельный расход воды на отмывку катионита, для сульфогля принимается  $4 m^3/m^3$ .

Расход воды на регенерацию натрий-катионитного фильтра без использования отмывочных вод на взрыхление составляет:

$$Q_{с.н} = Q_{взр} + Q_{р.с} + Q_{от}. \quad (3.23)$$

С учетом использования отмывочной воды на взрыхляющую промывку расход воды на собственные нужды натрий-катионитных фильтров будет:

$$Q'_{с.н} = Q_{р.с} + Q_{от}, \quad (3.24)$$

где  $Q_{с.н}$  – расход воды на собственные нужды натрий-катионитного фильтра без использования отмывочных вод на взрыхление,  $m^3$  на одну регенерацию;

$Q'_{с.н}$  – то же с учетом использования отмывочных вод на взрыхление фильтра,  $m^3$ .

## 4. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

### 4.1. Теоретическая часть

В ходе ответов на поставленные вопросы необходимо пользоваться литературными источниками, указанными в разделе использованной литературы. Номер варианта определяется суммой двух последних цифр номера зачетной книжки студента.

#### *Раздел 1. Основные понятия и определения*

1. Основные направления использования природной воды в цикле ТЭС.
2. Примеси сточных вод, поступление их в воду и влияние на окружающую среду.
3. Классификация природных вод. Характеристики примесей природных вод.
4. Классификация примесей природных вод по химическому составу.
5. Способы выражения концентрации растворов.
6. Растворимость твердых веществ в воде.
7. Растворимость газов в воде.

8. Показатели качества воды для теплоэнергетики.
9. Состав, свойства и количество отложений (накипь).
10. Образование щелочно-земельных отложений.
11. Образование железистых отложений.
12. Продувка котельных агрегатов.
13. Ступенчатое испарение.
14. Вычисление состава воды после реагентных методов обработки воды.
15. Характеристики фильтрующих материалов, применяемых в осветлительных фильтрах.
16. Физико-химическая характеристика ионитов (катиониты и аниониты). Регенерация. «Старение» анионитов.
17. Общие требования к химическому контролю.
18. Режимные карты. Нормы качества.

## *Раздел 2. Методы водоподготовки воды*

1. Предварительная очистка воды.
2. Методы докотловой обработки воды.
3. Внутрикотловая обработка воды.
4. Коагуляция воды. Химизм сернокислой коагуляции, две стадии коагуляции.
5. Хлорирование исходной воды.
6. Электрокоагуляция.
7. Известкование воды. Химизм процесса. Осветление воды.
8. Методы осаждения.
9. Обработка воды методами ионного обмена.
10. Процесс Na-катионирования. Регенерация.
11. Процесс H-катионирования. Регенерация. Процесс «голодной» регенерации.
12. NaCl-ионирование. Регенерация.
13. Электродиализ.
14. Десорбция газов из воды. Закон Генри.
15. Десорбция газов из воды. Закон Дальтона.
16. Основы декарбонизации.
17. Обезжелезивание конденсата.
18. Обезмасливание конденсата.

### Раздел 3. Схемы оборудования и установок водоподготовки

1. Схемы хранения поваренной соли.
2. Схема хранения мокрого коагулянта.
3. Схема коагуляции и известкования воды.
4. Схемы ионитных установок.
5. Схема двухступенчатого Na-катионирования.
6. Схемы H-Na-катионитных установок.
7. Принципиальная схема вакуумной деаэрационной установки.
8. Принципиальная схема деаэрационно-питательной установки.
9. Принципиальная схема деаэрационно-питательной установки с вакуумным деаэратором.
10. Принципиальная схема деаэрационно-питательной установки без потерь конденсата с естественной циркуляцией греющей воды.
11. Схема ВПУ для комбинированной котельной.
12. Схема непрерывной продувки котлов.
13. Прямоточная схема коагуляции воды.
14. Схемы хранения серной кислоты.
15. Схемы ввода фосфатов в котельный агрегат.
16. Принципиальная схема установки обезмасливания конденсата.
17. Схема известковой установки.
18. Схема работы и регенерации фильтров обессоливания воды (прямоточная, противоточная и смешанная).

## 5. РАСЧЕТ ВПУ

Расчет водоподготовительной установки осуществляется по индивидуальному варианту, определяемому по сумме двух последних цифр номера зачетной книжки студента.

### 5.1. Исходные данные

Расчет водоподготовительной установки осуществляется по исходным данным, приведенным в табл. 5.1. и 5.2.

Таблица 5.1

Характеристики котельной и состав воды

№ варианта	Тип котлов	Количество котлов	Взвешенные вещества, мг/кг	Сухой остаток, мг/кг
1	ДЕ-10	4	41,6	400
2	ДЕ-10 + ДЕ-14	2 + 1	50,0	450
3	ДЕ-14	3	–	420

Окончание табл. 5.1

№ варианта	Тип котлов	Количество котлов	Взвешенные вещества, мг/кг	Сухой остаток, мг/кг
4	ДЕ-6,5	3	–	480
5	ДЕ-6,5 + ДЕ-10	1 + 2	62,4	450
6	ДЕ-14 + ДЕ-6,5	1 + 2	–	430
7	ДЕ-6,5	1	18,0	475
8	ДЕ-20 + ДЕ-6,5	1 + 1	–	425
9	ДЕ-20	2	2,6	470
10	ДЕ-10	1	10,4	455
11	ДЕ-6,5	4	14,0	440
12	ДЕ-6,5 + ДЕ-10	2 + 1	–	435
13	ДЕ-6,5 + ДЕ-20	2 + 2	–	410
14	ДЕ-14	2	34,0	415
15	ДЕ-6,5 + ДЕ-10	1 + 1	61,9	490
16	ДЕ-10 + ДЕ-20	2 + 2	17,8	495
17	ДЕ-6,5	2	41,5	480
18	ДЕ-10	2	62,8	485

Таблица 5.2

**Концентрация ионов растворенных веществ в воде**

№ варианта	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl	Жесткость общая	Жесткость карбонатная	Жесткость некарбонатная
1	60,0	9,7	22,8	57,4	35,0	3,8	2,6	1,2
2	47,2	13,6	3,7	12,6	3,7	3,2	3,0	0,2
3	120,0	16,8	6,9	93,2	7,1	6,84	4,34	2,5
4	59,1	15,0	8,6	25,6	15,8	3,82	3,08	0,74
5	91,8	16,8	7,8	81,0	22,0	5,97	4,0	1,97
6	84,0	7,3	10,7	48,0	38,0	4,8	3,2	1,6
7	56,4	16,8	10,4	8,9	13,0	4,2	4,1	0,1
8	60,8	15,8	–	13,5	25,5	4,3	3,3	1,0
9	36,96	9,1	–	10,1	3,2	2,6	2,3	0,3
10	56,1	15,8	2,25	97,7	2,4	4,1	2,1	2,0
11	51,9	10,7	6,1	15,0	4,9	4,29	3,43	0,86
12	78,0	6,2	8,6	29,7	15,8	5,1	2,6	2,5
13	44,2	84,3	27,0	6,1	3,9	0,55	0,45	0,1
14	80,5	5,9	10,2	10,7	17,3	6,2	5,41	0,79
15	89,2	14,6	7,9	78,9	21,7	4,95	3,8	1,15
16	52,91	16,2	8,95	8,4	12,8	4,8	2,9	1,9
17	58,0	9,4	23,1	56,2	27,1	3,2	2,8	0,4
18	91,2	16,4	8,0	81,3	22,2	5,96	3,8	2,16



## 5.2. Пересчёт показателей качества исходной воды

Для пересчёта показателей качества воды из мг/кг в мг-экв/кг используется понятие «эквивалент» вещества:

$$\mathcal{E} = \frac{M}{n}, \quad (5.1)$$

где  $M$  – молекулярная масса вещества;  
 $n$  – валентность.

## 5.3. Паровой баланс котельной

$$\text{Паропроизводительность: } G_1 = NQ \quad (5.2)$$

$$\text{Расход пара на производство: } G_2 = 0,7G_1 \quad (5.3)$$

$$\text{Потери на производстве: } q_3 = 0,5G_2 \quad (5.4)$$

$$\text{Потери на разогрев мазута: } q_4 = 0,03q_3 \quad (5.5)$$

$$\text{Потери в котельной: } q_5 = 0,02q_3 \quad (5.6)$$

$$\text{Суммарные потери конденсата и пара: } q_6 = 0,5G_1 \quad (5.7)$$

$$\text{Потери в деаэраторе подпиточной воды: } q_7 = 0,07G_1 \quad (5.8)$$

$$\text{Потери с выпаром в деаэраторе: } q_8 = 0,3q_7 \quad (5.9)$$

## 5.4. Выбор схемы ВПУ

Выбор схемы обработки воды для паровых котлов проводится по трём основным показателям:

- продувка котлов;
- относительная щёлочность котловой воды;
- концентрация углекислоты в паре.

Величину продувки котлов по сухому остатку определяют следующим образом:

$$P = \frac{S_{\text{ов}} \cdot \Pi_{\text{к}} \cdot 100}{S_{\text{кв}} - S_{\text{ов}} \cdot \Pi_{\text{к}}} \quad (5.10)$$

где  $P$  – величина продувки котлов по сухому составу, %;

$\Pi_{\text{к}} = 0,5$  – сумма потерь пара и конденсата в долях от паропроизводительности котельной, %;

$S_{\text{ов}}$  – сухой остаток обработанной воды, мг/кг;

$S_{\text{кв}}$  – сухой остаток котловой воды ( $S_{\text{кв}} = 10000$  мг/кг).

Из Приложения 3 [1, с. 46]  $\Delta S$  :

$$S_{\text{об}} = S_{\text{исх}} + \Delta S \quad (5.11)$$

Относительная щёлочность котловой воды равна относительной щёлочности обработанной воды (разбавление конденсатом и концентрирование солей в котле не изменяет величину относительной щёлочности) и определяется по следующей формуле:

$$\text{Щ}_{\text{от.об}} = \frac{40 \cdot \text{Щ}_{\text{об}} \cdot 100}{S_{\text{об}}}, \quad (5.12)$$

где  $\text{Щ}_{\text{от.к.в}}$  – относительная щелочность котловой воды, %;

$\text{Щ}_{\text{от.о.в}}$  – относительная щелочность обработанной воды, %;

$S_{\text{о.в}}$  – сухой остаток обработанной воды, мг/кг.

Принимаем:

$$\text{Щ}_{\text{об}} = \text{Ж}_{\text{к}}. \quad (5.13)$$

По полученным данным определяем схему водоподготовки.

Определим содержание  $\text{CO}_2$ :

$$\text{CO}_2 = 22 \text{Щ}_{\text{об}} \alpha_{\text{об}} (\sigma_1 + \sigma), \quad (5.14)$$

где  $\sigma_1 = 0,4$  – доля разложения  $\text{NaHCO}_3$  в котле, примерно равная 0,4 (60 % разложилось в барабанном деаэраторе) [2, с. 105];

$\sigma = 0,82$  – доля разложения  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  в котле при соответствующем давлении, принимаем по графику [1, с. 10];

$\alpha_{\text{об}} = 0,5$  – доля обработанной воды в питательной [2, с. 103].

По концентрации углекислоты в паре принимаем водород-натрий-катионирование с «голодной» регенерацией водород-катионитных фильтров. Эта схема позволяет снизить содержание бикарбонатов в исходной воде.

Теперь необходимо проверить правильность выбора данной схемы:

$$P = \frac{S_{\text{об}} \alpha_{\text{об}} \cdot 100}{S_{\text{кв}} - S_{\text{об}} \alpha_{\text{об}}} \quad (5.15)$$

$$S_{\text{об}} = S_{\text{ив}} \cdot 20,04 \cdot \text{Ж}_{\text{Ca}} - 12,16 \cdot \text{Ж}_{\text{Mg}} - \frac{(\text{Ж}_{\text{к}} - \text{Ж}_{\text{к.ост}}) \cdot 61,02}{2} + \\ + 2,69 \cdot \text{Ж}_{\text{Ca}}^{\text{Na}} + 10,84 \cdot \text{Ж}_{\text{Mg}}^{\text{Na}},$$

где  $\text{Ж}_{\text{к}} - \text{Ж}_{\text{к.ост}}$  – количество солей жесткости, удаляемое при катионировании с голодной регенерацией;

$J_{\text{к.ост}}$  – остаточная карбонатная жесткость принимается по нормам качества;

$S_{\text{ив}}$  – сухой остаток (исходный);

$J_{\text{Ca}}$  – кальциевая жесткость, удаляемая на катионитных фильтрах (по пересчёту):

$J_{\text{Mg}}$  – магниевая жесткость, удаляемая на катионитных фильтрах [2, с. 106];

$$J_{\text{Mg}} = (J_{\text{к}} - J_{\text{к.ост}}) - \text{Mg}; \quad (5.16)$$

$J_{\text{Ca}}^{\text{Na}}$  – кальциевая жесткость, удаляемая на Na-катионитных фильтрах, в данном случае равна 0;

$$J_{\text{Mg}}^{\text{Na}} = J_{\text{Mg}} - \text{Mg}. \quad (5.17)$$

Относительная щёлочность котловой воды:

$$\text{Щ}_{\text{ост}} = 0,4 \text{ мг-экв/кг.}$$

$$\text{Щ}_{\text{от.о.в}} = \frac{40\text{Щ}_{\text{ост}} \cdot 100}{S_{\text{ов}}}.$$

Количество углекислоты в паре:

$$\text{CO}_2 = 22\text{Щ}_{\text{ов}} \alpha_{\text{ов}} (\sigma_1 + \sigma). \quad (5.18)$$

По всем показателям осуществляется проверка, подходит ли выбранная схема подготовки воды для паровых котлов.

## 5.5. Производительность ВПУ

Производительность ВПУ складывается из расхода на питание паровых котлов

$$Q_{\text{пк}} = \kappa q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8 + p \frac{G_1}{100}, \quad (5.19)$$

где  $\kappa$  – коэффициент, учитывающий возможность недовозврата.

$$Q_{\text{пк}} = Q_{\text{впу}}; \quad (5.20)$$

$$Q_{\text{впу}} = Q_{\text{пк}} + Q_{\text{пт}} + Q_{\text{гв}}, \quad (5.21)$$

где  $Q_{\text{пт}}$  – расход воды на подпитку теплоносителей;

$Q_{\text{гв}}$  – расход воды на горячее водоснабжение.

## 5.6. Расчёт Na-катионитных фильтров

Расчёт ВПУ необходимо начинать с хвостовой части, т. е. с Na-катионитных фильтров второй ступени, поскольку головная часть установки должна пропустить дополнительное количество воды.

### 5.6.1. Na-катионитные фильтры второй ступени

Производительность фильтров принимается равной производительности ВПУ, на основании которой выбираются стандартные характеристики фильтров, применяемых в энергетике с учетом скорости фильтрации (скорость фильтрации воды должна превышать 15 м/с). По справочной литературе необходимо выбрать:

- диаметр фильтра  $D$  [2, с. 30];
- площадь фильтрации  $F_{\text{Na}_2}$  [2, с. 30];
- высота слоя катионита  $H$  [2, с. 30];
- объём катионов  $V_{\text{к}}$  [2, с. 30];
- количество рабочих фильтров  $a_1$  [2, с. 33];
- количество резервных фильтров  $a_2$  [2, с. 33].

Общая жесткость фильтрата, поступающего на фильтры второй ступени катионирования  $Ж_{0_{\text{ост}_2}}$  [2, с. 33].

Жёсткость фильтрата после второй ступени катионирования  $Ж_{0_{\text{ост}_2}}$  [2, с. 38, нормы].

Далее осуществляется расчет фильтров второй ступени катионирования по следующей методике:

- скорость фильтрации:

$$\omega = \frac{Q_{\text{Na}_2}}{F_{\text{Na}_2}}; \quad (5.22)$$

- число регенераций фильтра в сутки:

$$N_{\text{Na}} = \frac{A}{V_{\text{к}} E_{\text{pNa}} a_1}, \quad (5.23)$$

где  $A$  – количество солей жесткости, удалённой на Na-катионитных фильтрах в сутки:

$$A = 24 Ж_{0_{\text{ост}_2}} Q_{\text{Na}_2}; \quad (5.24)$$

$E_{pNa}$  – рабочая объёмная способность катионита при Na-катионировании:

$$E_{pNa} = \alpha_3 \beta_{Na} E_n - 0,5 J_{0ост} q, \quad (5.25)$$

где  $\alpha_3$  – коэффициент, учитывающий эффективность регенерации, неполноту регенерации катионита. При  $J_0 < 5$  мг-экв/кг удельный расход соли принимаем равным 350 г/г-экв [2, с. 34]. По исходным данным  $J_0 > 5$  мг-экв/кг, следовательно [2, с. 32] расход соли принимаем 300–400 г/г-экв;

$\beta_{Na}$  – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита по Ca и Mg за счёт частичного задержания катионов Na [2, с. 35];

$$\beta_{Na} = 0,91;$$

$E_n$  – полная обменная способность катионита, в расчётах принимается:

$$E_n = 500 \text{ г-экв/м}^3;$$

$q$  – удельный расход воды на отмывку катионита

$$q = 4$$

$$N_{Na} = \frac{A}{V_k E_{ppNa_1}} \text{ раз/сут.} \quad (5.26)$$

Расход соли на одну регенерацию:

$$Q = \frac{E_{pNa} V_k q c}{1000}. \quad (5.27)$$

Расход насыщенного раствора соли (26 %) на одну регенерацию:

$$Q_{нр} = \frac{Q_c \cdot 100}{1000 \cdot 1,2 \cdot 26}. \quad (5.28)$$

Расход технической соли в сутки на регенерацию фильтра второй ступени:

$$Q_{cc} = \frac{Q_c N_{Na} a_1 100}{96,5}, \quad (5.29)$$

где  $N_{Na}$  – число регенераций.

Расход воды на регенерацию Na-катионитного фильтра второй ступени складывается из:

1) расхода воды на взрыхляющую промывку:

$$Q_{\text{взр}} = \frac{iF_{\text{Na2}} \cdot 60 f_{\text{взр}}}{1000}, \quad (5.30)$$

где  $i = 4$  – интенсивность взрыхляющей промывки фильтров [2, с. 34];  
 $f_{\text{взр}} = 15$  – продолжительность взрыхляющей промывки:

2) расход воды на приготовление регенерационного раствора:

$$Q_{\text{рег}} = \frac{100Q_{\text{с}}}{1000\beta\alpha}, \quad (5.31)$$

где  $\beta$  – концентрация регенерационного раствора

$$\beta = 7,$$

$$\alpha = 1,04;$$

3) расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации:

$$Q_{\text{от}} = qV_{\text{к}}. \quad (5.32)$$

Расход воды на регенерацию Na-катионитного фильтра II ступени с учётом использования отливочных вод на взрыхляющую промывку:

$$Q_{\text{сч}} = Q_{\text{рег}} + Q_{\text{от}}. \quad (5.33)$$

То же в среднем за сутки:

$$Q_{\text{NaII}} = Q_{\text{сч}} N_{\text{Na}}. \quad (5.34)$$

### **5.6.2. Na-катионитные фильтры первой ступени**

Производительность фильтров:

$$Q_{\text{NaI}} = Q_{\text{NaII}} + 0,285. \quad (5.35)$$

На основании производительности фильтров второй ступени необходимо выбрать стандартный фильтр с учетом условий, аналогичных выбору фильтров первой ступени.

- диаметр фильтра  $D$  [2, с. 30];
- площадь фильтрации  $F_{\text{NaI}}$  [2, с. 30];
- высота слоя катионита  $H$  [2, с. 30];
- объём катионов  $V_{\text{к}}$  [2, с. 30];

- количество рабочих фильтров  $a_1$  [2, с. 33];
- количество резервных фильтров  $a_2$  [2, с. 33].

Общая жесткость фильтрата, поступающего на фильтры I ступени катионирования [2, с. 33]:

$$Ж_{0NaI} = Ж_0 - Ж_k + 0,4 \text{ мг-экв/кг.} \quad (5.36)$$

Жёсткость фильтра после I ступени катионирования [2, с. 38] принимаем 0,1 мг-экв/кг.

Скорость фильтрации:

$$\omega_{NaI} = \frac{Q_{NaI}}{F_{NaI}}; \quad (5.37)$$

$$N_{Na} = \frac{A}{V_k E_{pNaI} a_1}. \quad (5.38)$$

Число регенераций фильтра в сутки:

$$A = 24 \cdot Ж_{0NaI} \cdot Q_{NaI}. \quad (5.39)$$

$E_{pNaI}$  – рабочая объёмная способность катионита при Na-катионировании:

$$E_{pNaI} = \alpha_3 \beta_{Na} \cdot E_n - 0,5 Ж_{0NaI} q_c, \text{ г-экв/кг,} \quad (5.40)$$

где  $\alpha_3 = 0,74$  – коэффициент, учитывающий эффективность регенерации, неполноту регенерации катионита. При  $Ж_0 < 5$  мг-экв/кг удельный расход соли принимаем равным 150 г/г-экв [2, с. 34].

При  $Ж_0 > 5$  мг-экв/кг удельный расход соли принимаем равным 300–400 г/г-экв;

$\beta_{Na}$  – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита по Ca и Mg за счёт частичного задержания катионов Na [2, с. 35].

$E_n$  – полная обменная способность катионита в расчётах:

- расход соли на одну регенерацию:

$$Q_c = \frac{E_{pNaI} V_k q_c}{1000}; \quad (5.41)$$

- расход насыщенного раствора соли (26 %) на одну регенерацию:

$$Q_{нр} = \frac{Q_c \cdot 100}{1000 \cdot 1,2 \cdot 26} \text{ м}^3; \quad (5.42)$$

– расход технической соли в сутки на регенерацию фильтра второй ступени:

$$Q_{\text{cc}} = \frac{Q_c N_{\text{Na}} a_1 100}{96,5}; \quad (5.43)$$

– расход воды на регенерацию Na-катионитного фильтра второй ступени складывается из:

1) расхода воды на взрыхляющую промывку:

$$Q_{\text{взр}} = \frac{i F_{\text{NaI}} 60 f_{\text{взр}}}{1000} \text{ м}^3, \quad (5.44)$$

где  $i$  – интенсивность взрыхляющей промывки фильтров [2, с. 34];

$f_{\text{взр}} = 15$  мин продолжительность взрыхляющей промывки;

2) расхода воды на приготовление регенерационного раствора, где  $\beta$  – концентрация регенерационного раствора

$$Q_{\text{рег}} = \frac{100 Q_c}{1000 \beta \alpha}. \quad (5.45)$$

Следовательно,

$$Q_{\text{от}} = q V_{\text{к}}; \quad (5.46)$$

– расход воды на регенерацию Na-катионированного фильтра II ступени с учетом использования отливочных вод на взрыхляющую промывку:

$$Q_{\text{сн}} = Q_{\text{рег}} + Q_{\text{от}}. \quad (5.47)$$

Без использования отмывочной воды расход будет определяться следующим образом:

$$Q_{\text{сн}} = Q_{\text{взр}} + Q_{\text{рег}} + (Q_{\text{от}} - Q_{\text{взр}}); \quad (5.48)$$

– расход воды на регенерацию фильтров I ступени в сутки:

$$Q_{\text{NaI}} = 2 Q_{\text{сн}} N_{\text{Na}}. \quad (5.49)$$

То же в среднем за час:

$$Q_{\text{снNaI}} = \frac{Q_{\text{NaI}}}{24}. \quad (5.50)$$



## Литература

1. Практическое руководство по проведению практических занятий и выполнению расчетно-графической работы по курсу «Водоподготовка» для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности Т.01.02.00 «Теплоэнергетика». – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2001. – С. 50.
2. Лифшиц О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок малой мощности / О. В. Лифшиц. – М. : Энергия, 1969. – С. 144.
3. Шкроб М. С. Водоподготовка / М. С. Шкроб, В. Ф. Вихрев. – М. : Энергия, 1986. – С. 246.
4. Кастальский А. А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / А. А. Кастальский, Д. М. Минц. – М. : Высш. шк., 1978. – С. 175.
5. Водоподготовка, водный режим и химический контроль на паросиловых установках: справочник / под общ. ред. М. С. Шкроба, В. И. Вульфсона. – М. : Энергия, 1966. – С. 160.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Коэффициент эффективности регенерации катионита

Удельный расход соли на регенерацию катионита, г/г-экв обменной способности	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
$\alpha_3$	0,62	0,64	0,67	0,69	0,72	0,74	0,75	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82	0,83

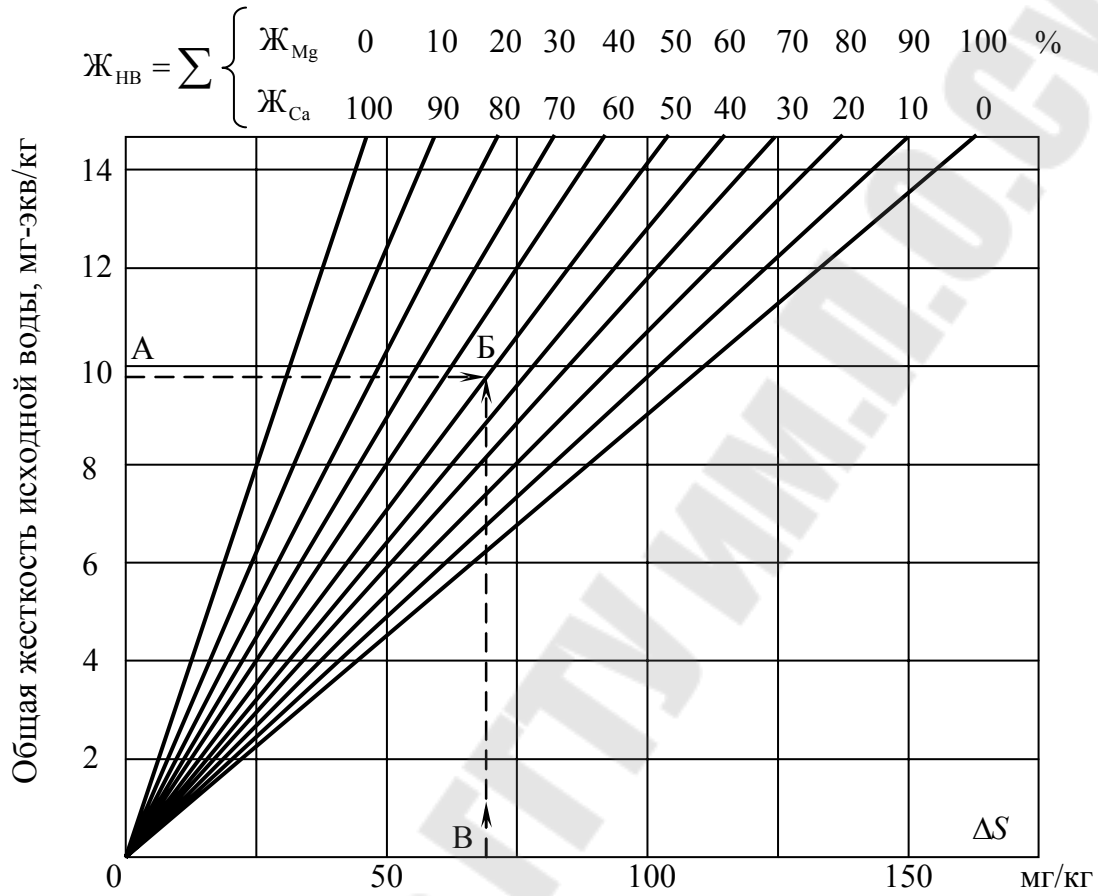
Удельный расход соли на регенерацию катионита, г/г-экв обменной способности	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350
$\alpha_3$	0,84	0,85	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94

### Приложение 2

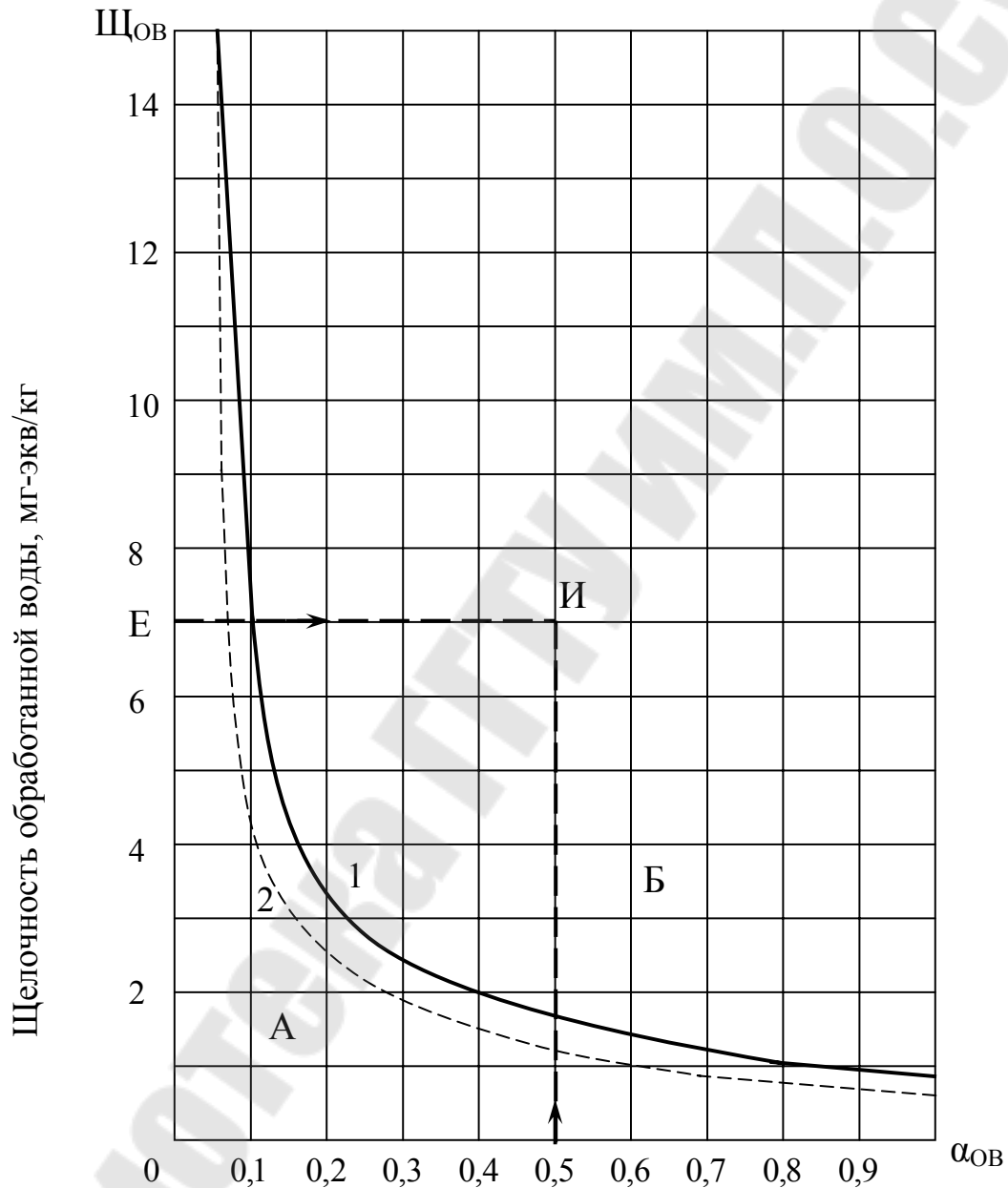
#### Коэффициент снижения обменной способности катионита

$\frac{C_{Na}^2}{AE_0}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\beta_{Na}$	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,8	0,77	0,73	0,7
$\frac{C_{Na}^2}{AE_0}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\beta_{Na}$	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,62	0,6	0,57	0,54	0,53	0,52	0,52	0,51	0,5

**Сухой остаток воды при ее обработке по схеме  
натрий-катионирования**



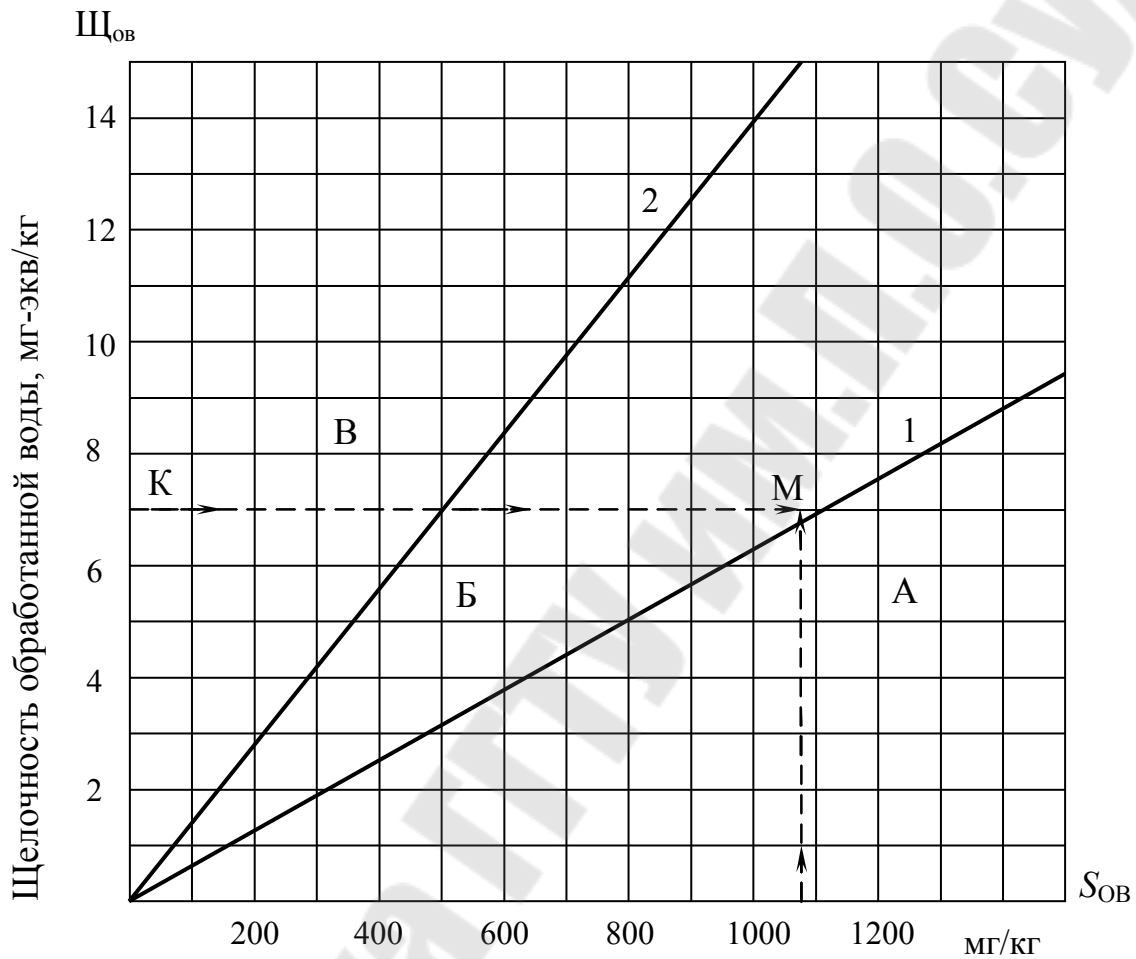
**Определение возможности применения схемы  
натрий-катионирования по концентрации  
углекислоты в паре**



*Для обработанной воды*

А – область применения натрий-катионирования; Б – область схем со снижением концентрации углекислоты; 1 – концентрация  $\text{CO}_2 = 20$  мг/кг при барботажной деаэрации; 2 – то же при деаэрации без барботажа пара

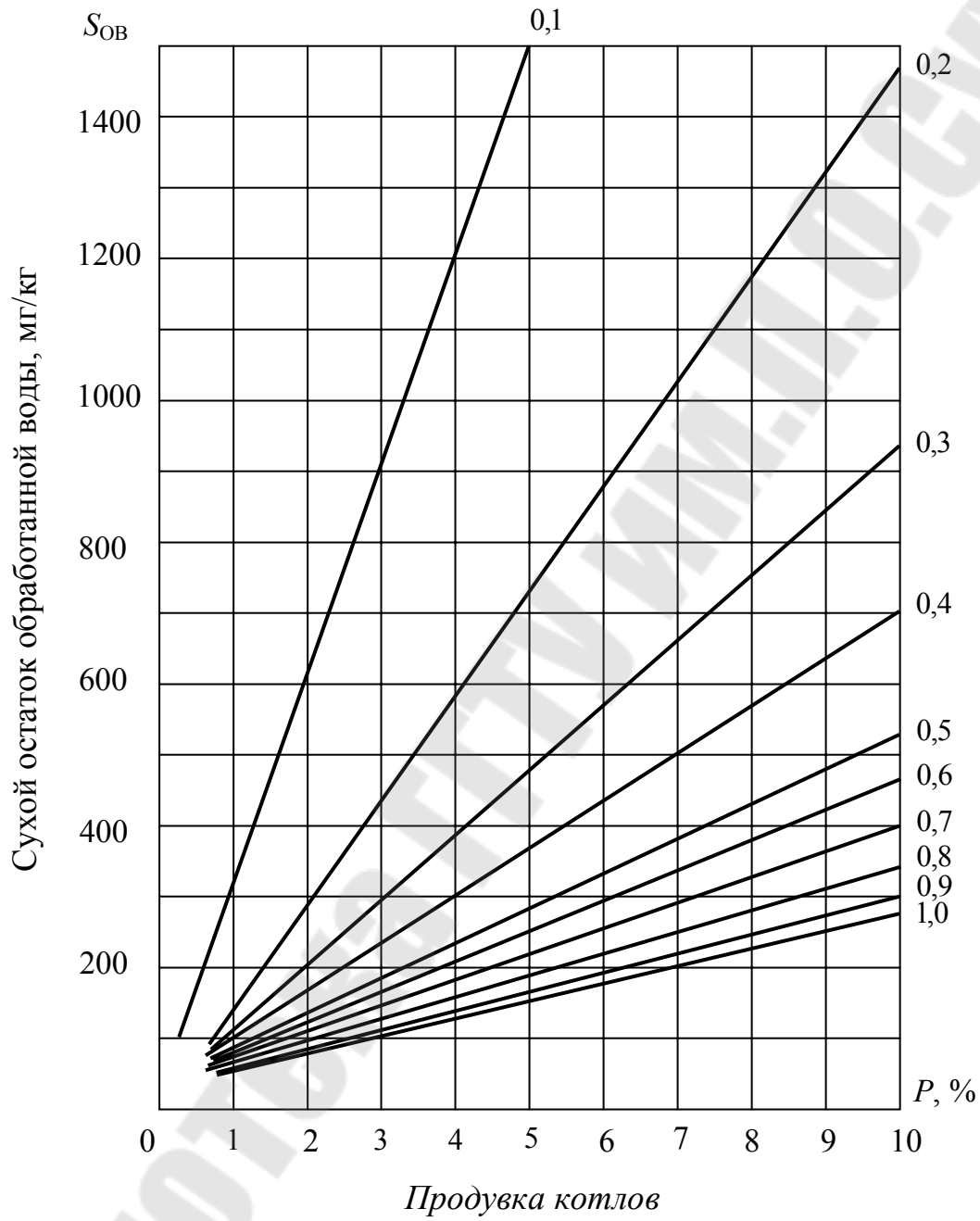
**Определение возможности применения схемы  
натрий-катионирования по величине относительной  
щелочности котловой воды**



*Сухой остаток обработанной воды*

А – область применения натрий-катионирования; Б – то же с нитратированием; В – область применения схем со снижением щелочности; 1 –  $\text{Щ}_{\text{от}} = 20\%$ ; 2 –  $\text{Щ}_{\text{от}} = 50\%$

Величина продувки котлов при  $S_{к.в} = 10000$  мг/кг



## Содержание

Введение .....	3
1. Цель и задачи дисциплины «Водоподготовка» .....	4
2. Основные понятия и определения курса «Водоподготовка» .....	4
2.1. Нормы качества воды и пара .....	4
2.2. Выбор схем обработки воды .....	9
3. Требования к выполнению контрольной работы .....	18
3.1. Методика выполнения контрольной работы .....	18
3.2. Перерасчет показателей качества исходной воды .....	18
3.3. Выбор схемы ВПУ .....	19
3.4. Описание выбранной схемы .....	20
3.5. Паровой баланс котельной .....	21
3.6. Производительность водоподготовительной установки .....	21
3.7. Расчет основного оборудования водоподготовительных установок .....	22
4. Задание для выполнения контрольной работы .....	37
4.1. Теоретическая часть .....	37
5. Расчет ВПУ .....	39
5.1. Исходные данные .....	39
5.2. Пересчёт показателей качества исходной воды .....	41
5.3. Паровой баланс котельной .....	41
5.4. Выбор схемы ВПУ .....	41
5.5. Производительность ВПУ .....	43
5.6. Расчёт Na-катионитных фильтров .....	44
Литература .....	49
Приложения .....	50

Учебное электронное издание комбинированного распространения

**ВОДОПОДГОТОВКА**  
**ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО**  
**по выполнению контрольных работ**  
**по одноименному курсу для студентов**  
**специальности 1-43 01 05**  
**«Промышленная теплоэнергетика» (Т.01.02.00)**  
**заочной формы обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

Авторы-составители: **Овсянник** Наталья Владимировна  
**Иванова** Екатерина Марковна

Редактор Л. Ф. Теплякова

Компьютерная верстка Н. Б. Козловская

Подписано в печать 19.12.2005.  
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Ризография. Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,38.  
Заказ № 490/53.

Издательский центр Учреждения образования  
«Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого».  
ЛИ № 02330/0133207 от 30.04.2004 г.  
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.,  
E-mail: rio@gstu.gomel.by  
//http:www.gstu.gomel.by

Отпечатано на ризографическом оборудовании  
Учреждения образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П.О. Сухого».  
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.