



В. Б. Бируля

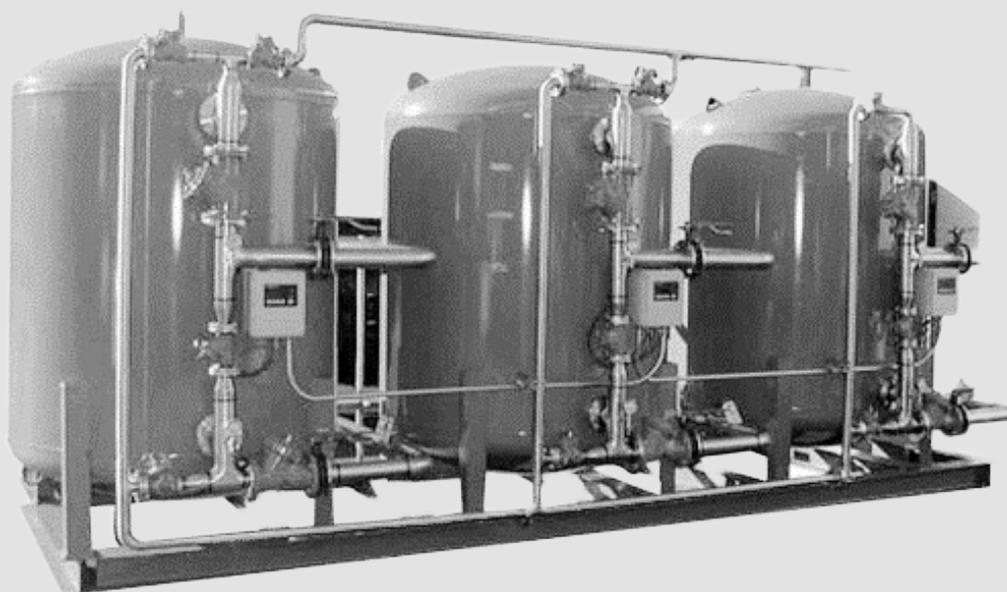
# ВОДОПОДГОТОВКА КОТЕЛЬНЫХ

*Учебное пособие*

*для обучающихся по направлениям:*

*«Строительство»*

*«Теплоэнергетика и теплотехника»*





МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. Б. Бируля

# ВОДОПОДГОТОВКА КОТЕЛЬНЫХ

*Учебное пособие*

*для обучающихся по направлениям:*

*«Строительство»*

*«Теплоэнергетика и теплотехника»*

 SCIENTIA  
ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ

Санкт-Петербург  
2023

УДК 621.182.1(075.8)  
ББК 31.370.4Я73  
Б64

#### Рецензенты

**Батуев Сергей Петрович** — кандидат технических наук,  
генеральный директор СПКФ «Валер»;

**Пономарев Николай Степанович** — кандидат физико-математических наук,  
заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» СПбГАСУ.

**Бируля, Виктор Борисович**

**Б64** **Водоподготовка котельных** [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Б. Бируля; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. — Электронные данные. — Санкт-Петербург: Сциентиа, 2023. — 6,18 Мб; 139 с. — Режим доступа: <https://scientia-pub.org/index.php/Sci/catalog/book/50> — Загл. с экрана.  
**ISBN 978-5-6049390-6-2. — DOI 10.32415/scientia\_978-5-6049390-6-2.**

*Учебное пособие включает разделы, составляющие общие курсы дисциплины «Теплогенерирующие установки» и дисциплины «Водоподготовка котельных и тепловых электростанций»: характеристика природных вод; требования к качеству питательной воды для паровых котлов, подпиточной воды для тепловых сетей и водогрейных котлов; методы и способы обработки воды для котельных; расчет и выбор оборудования Химоводоочистки (ХВО); дегазация; продувка паровых котлов; требования к размещению оборудования ХВО и химическим лабораториям котельных.*

*Приведено два примера расчета и выбора оборудования ХВО для различного состава исходной воды. Алгоритм расчета пригоден для любых котельных с паровыми и водогрейными котлами малой и средней тепловой мощности при работе на любых видах органического топлива.*

*Пособие предназначено для студентов всех форм обучения, обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 — «Строительство» (профиль: «Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве») и 13.03.01 — «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль: «Энергообеспечение предприятий»).*

УДК 621.182.1(075.8)  
ББК 31.370.4Я73

## Оглавление

|   |     |
|---|-----|
| Предисловие .....   | 5   |
| 1. Общие положения .....  | 7   |
| 1.1. Источники водоснабжения .....  | 7   |
| 1.2. Водные растворы .....  | 8   |
| 1.2.1 Растворимость твердых веществ в воде .....                            | 8   |
| 1.2.2. Растворимость газов в воде .....                                     | 9   |
| 1.2.3. Водородный показатель .....  | 10  |
| 1.3. Основные показатели качества воды .....                                | 11  |
| 1.4. Накипеобразование .....  | 18  |
| 1.5. Внутренняя коррозия .....  | 20  |
| 1.6. Требования к качеству сетевой, питательной, котловой воды и пару ..... | 23  |
| 2. Методы и способы обработки воды .....                                    | 28  |
| 2.1. Этапы обработки воды .....   | 28  |
| 2.2. Предварительная очистка воды от механических примесей .....            | 29  |
| 2.3. Докотловая обработка воды .....  | 33  |
| 2.4. Внутрикотловая химическая обработка воды .....                         | 34  |
| 2.5. Внутрикотловые безреагентные методы обработки воды .....               | 36  |
| 2.6. Обработка воды комплексонами .....                                     | 39  |
| 2.7. Метод умягчения воды путем ионного обмена .....                        | 44  |
| 2.8. Технологии противоточного ионирования .....                            | 47  |
| 2.9. Очистка конденсата от масел .....                                      | 49  |
| 2.10. Удаление железа .....   | 49  |
| 2.11. Основные показатели для выбора схемы обработки воды .....             | 50  |
| 3. Выбор оборудования .....   | 55  |
| 3.1. Расчет потребления воды .....  | 55  |
| 3.2. Осветлительные фильтры .....   | 56  |
| 3.3. Фильтры для обработки воды ионным обменом .....                        | 58  |
| 3.4. Солеобразователи, бункера мокрого хранения реагента .....              | 70  |
| 3.5. Бак-мерник регенерационного раствора .....                             | 72  |
| 3.6. Подогреватели «сырой» воды .....                                       | 73  |
| 3.7. Насосы «сырой» воды .....  | 75  |
| 3.8. Химические насосы и эжекторы соли .....                                | 75  |
| 3.9. Бак отмывочной воды .....  | 77  |
| 3.10. Декарбонизаторы .....   | 77  |
| 3.11. Вспомогательное оборудование .....                                    | 82  |
| 3.12. Установки умягчения непрерывного действия серии «SF-A» .....          | 82  |
| 4. Продувка и использование ее теплоты .....                                | 85  |
| 5. Дегазация питательной и сетевой воды .....                               | 93  |
| 5.1. Химическая дегазация .....   | 93  |
| 5.2. Термическая дегазация .....  | 94  |
| 6. Требования к размещению оборудования водоподготовки .....                | 111 |
| 6.1. План размещения оборудования .....                                     | 111 |
| 6.2. Химический контроль в котельных .....                                  | 112 |
| 6.3. Требования к химической лаборатории .....                              | 116 |
| 6.4. Оборудование химической лаборатории и его размещение .....             | 117 |

|   |     |
|---|-----|
| 7. Примеры выполнения расчетов выбора оборудования водоподготовки паровых котельных ..... | 118 |
| 7.1. Задание для выбора и расчеты оборудования водоподготовки .....                       | 118 |
| 7.2. Выбор схемы водоподготовки .....   | 121 |
| 7.3. Алгоритм расчета Na-катионитовых (Na-Cl-ионитовых) фильтров .....                    | 122 |
| 7.4. Алгоритм расчета для выбора оборудования системы водоподготовки .....                | 126 |
| Заключение .....  | 129 |
| Приложения .....  | 130 |
| Список используемых и рекомендуемых источников .....                                      | 138 |

## Предисловие

Учебное пособие предназначено для повышения уровня подготовки студентов по направлениям подготовки 08.03.01 – «Строительство» (профиль: Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве) и 13.03.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль: «Энергообеспечение предприятий») при изучении дисциплин: «водоподготовка котельных и тепловых электростанций», «теплогенерирующие установки», «теплоснабжение», «отопление» и «основы теплогазоснабжения и вентиляции», а также других дисциплин, связанных с использованием тепловой энергии. Кроме того, пособие позволяет самостоятельно выполнять практические задания, части курсового и дипломного проектирования, будет полезным инженерам-проектировщикам и специалистам.

В пособии рассматриваются как теоретические вопросы подготовки воды для котельных и тепловых сетей, так и алгоритмы расчетов по выбору схем обработки питательной воды для паровых котлов и воды для водогрейных котлов и тепловых сетей. Кроме того, приводятся расчеты и выбор оборудования водоподготовки.

Пособие написано в соответствии с учебной программой дисциплин: «Теплогенерирующие установки» и «Водоподготовка котельных и тепловых электростанций». Состоит из следующих разделов:

- общие положения – характеристика природных вод, нормативные требования к качеству воды для котлов;
- методы и способы обработки воды – химическая обработка (комплексоны), безреагентная обработка, умягчение воды путем ионного обмена;
- расчет и выбор схемы обработки и оборудования ХВО;
- организация продувки паровых котлов;
- химическая и термическая дегазация воды;
- размещение оборудования ХВО.

Пособие состоит из 7-и глав, предисловия, введения, заключения, рекомендуемой литературы.

В первой главе даются общие положения: характеристика исходной воды, накипеобразование; нормативные требования к качеству воды и пара.

Вторая глава дает характеристику методам и способам обработки воды. Показывает их преимущества и недостатки. Дает критерии, по которым следует подбирать ту или иную схему или способ обработки.

Третья глава и вторая глава пособия являются центральными. Третья глава посвящена расчету и выбору оборудования ХВО. Рассмотрены все типы оборудования и устройств, которые используются в практике проектирования, строительства и эксплуатации: механические фильтры; аппараты ионного обмена, как в индивидуальном, так и в блочном исполнении; солерастворители (фильтры технической соли); баки-мерники регенерационного раствора; подогреватели «сырой» воды; насосы различного назначения; эжектора соли; декарбонизаторы; установки непрерывного действия («SF-A»).

Четвертая глава. В этой главе рассмотрены конструкции и схемы продувки паровых котлов. Способы экономии котловой воды и теплоты.

Пятая глава подробно излагаются принципы дегазации воды и ее необходимость. Рассмотрена химическая и термическая дегазация воды. Приведены схемы и конструкции деаэраторов атмосферного и вакуумного типов. Приводятся схемы их подключения в общий котельный контур.

Шестая глава представлены требования к размещению оборудования ХВО, составу и объему химического анализа воды и пара.

Седьмая глава представляет собой два примера расчета и выбора оборудования для

различных характеристик исходной воды. Представленный алгоритм расчета позволяет выполнять его как в ручном, так и с помощью персонального компьютера.

В конце пособия для закрепления материала и наглядности приводятся два примера расчета. Первый предусматривает расчет двухступенчатой Na-катионитовой установки для открытой системы теплоснабжения в котельной, оборудованной котлами паровыми типа ДЕ, при сжигании мазута. Второй пример - паровая котельная с котлами типа ДЕ, ДКВР, с закрытой системой теплоснабжения, двухступенчатой Na-Cl-ионитовой обработкой исходной воды. Предложенные примеры следует отнести к сложным системам глубокой обработки воды. На базе этих примеров легко перейти к расчетам систем, предназначенных для обработки воды отопительных котельных и тепловых сетей.

В пособии широко используются данные из литературы, написанной видными отечественными учеными и специалистами: А. Н. Воликовым, Ф.И. Беланом, С.М. Гурвичем, Г. Н. Делягиным, Б. А. Пермяковым, К.Ф. Роддатисом, Ю.М. Кострикиным, О. В. Лившицем, Н.А. Мещерским, М. М. Щеголевым, Ю. Л. Гусевым, Б.Н. Фрогом.и другими.

## 1. Общие положения

### 1.1. Источники водоснабжения

Вода является очень хорошим растворителем многих веществ. Природные воды (артезианские, речные, озерные) или используемые в энергетике (питательные, котловые, сетевые и прочие) всегда содержат различные примеси. В природных водах в растворенном состоянии находятся газы (кислород, азот, углекислота и прочие), минеральные соли и некоторые органические вещества. Из минеральных солей чаще всего встречаются углекислые, хлористые и сернокислые соли кальция, магния и натрия. Они относятся преимущественно к так называемым сильным электролитам и практически полностью диссоциированы на ионы, поэтому правильнее рассматривать не солевой, а ионный состав природных вод. К наиболее распространенным катионам относятся  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , к анионам  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ .

Наиболее часто необходимость в использовании системы водоподготовки возникает в следующих случаях:

- эксплуатации паровых и водогрейных котлов;
- эксплуатации систем кондиционирования;
- эксплуатации систем теплоснабжения;
- эксплуатации систем водоснабжения;
- эксплуатации промышленных систем, где требуется очищенная водная среда.

В практике тепловых энергоустановок различают исходную воду – забираемую из источника водоснабжения (сырая, необработанная); химически обработанную в водоподготовительных установках (ВПУ); питательную – поступающую в котел; котловую (испаряемую) – находящуюся в котле.

В соответствии с основными звеньями круговорота воды в природе различают воду:

#### 1. Атмосферную

Атмосферная вода, выпадающая на земную поверхность, является наиболее чистой природной водой. Вблизи промышленных центров атмосферные осадки содержат сероводород, серную кислоту, частицы пыли и сажи. Использование атмосферной воды в качестве источника для технических целей ограничивается трудоемкостью сбора ее в значительных количествах.

#### 2. Поверхностную

Вода поверхностная рек, озер и искусственных водохранилищ содержит то или иное количество *растворенных веществ и нерастворенных механических примесей*, которые перед использованием в технологических циклах котельных необходимо удалить. Для рек химический состав воды сильно зависит от гидрометеорологических условий и времени года. Фильтрация воды через торфянистые и болотные почвы загрязняют воду органическими веществами и слабо минеральными. Обильные атмосферные осадки, талые воды снижают минерализацию воды за счет разбавления.

По величине минерального остатка *речные воды* можно разделить на группы, приведенные в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Группы речных вод

|                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| Малая минерализация      | до 200, мг/л     |
| Средняя минерализация    | 200-500, мг/л    |
| Повышенная минерализация | 500-1000, мг/л   |
| Высокая минерализация    | более 1000, мг/л |

#### 3. Грунтовую

Вода *грунтовая* отличается повышенной минерализацией, почти полным отсутствием взвешенных веществ и повышенным содержанием свободной углекислоты.

#### 4. Морскую

Морская вода является наиболее минерализованной и загрязненной и не может без предварительной обработки быть использована для технических целей.

Растворы солей, в результате химических реакций образуют следующие основные соединения (табл. 1.2), при определенных условиях выпадающие в осадок:

Таблица 1.2

#### Растворы солей

|            |            |            |
|------------|------------|------------|
| Сульфаты   | $CaSO_4$   | $MgSO_4$   |
| Хлориды    | $CaCl_2$ , | $MgCl_2$   |
| Карбонаты  | $CaCO_3$   | $MgCO_3$   |
| Силикаты   | $CaSiO_3$  | $MgSiO_3$  |
| Гидроокиси | $Ca(OH)_2$ | $Mg(OH)_2$ |

Использование воды в котлах связано с рядом затруднений, обусловленных наличием в воде примесей (табл. 1.3), нарушающих нормальную работу оборудования.

Таблица 1.3

#### Классификация примесей, загрязняющих природные воды

| Молекулярно – и ионно-дисперсные           | Коллоидные  | Грубодисперсные  |
|--|---|--|
| $d < 0,00110^{-6}$ (м)                     | $0,001 \cdot 10^{-6}(\text{м}) < d < 0,110^{-6}(\text{м})$  | $d > 0,110^{-6}$ (м)   |
| Истинные растворы – соли, кислоты, щелочи. | Соединения кремния, алюминия, железа, органические вещества (гуминовые – продукты распада живых микроорганизмов, окрашивающих воду в желтый или коричневый цвет).<br>Со временем не осаждаются. | Механические примеси – песок, глина, частицы растительности, находящиеся во взвешенном состоянии.<br>Со временем осаждаются. |

Как видно, природные воды содержат:

- *Нерастворимые примеси:* ил, песок, глина;

Ил, песок, глина – оседают на поверхностях нагрева и приводят к закупорке и перегоргу экранных и кипячительных труб.

- *Растворенные примеси:* соли (минеральные вещества) и газы.

### 1.2. Водные растворы

Вода — универсальный растворитель. В воде растворяются твёрдые, жидкие и газообразные вещества, образуя водные растворы. Водный раствор — разновидность раствора, в котором растворителем служит вода. Вещества, которые плохо растворяются в воде, называют гидрофобными, а хорошо в ней растворяющиеся — гидрофильными.

#### 1.2.1 Растворимость твердых веществ в воде

*Раствор* – система, в которой одно вещество равномерно распределено в среде другого вещества.

Различают растворы *насыщенные*, *ненасыщенные* и *перенасыщенные*. Обратный процессу *растворения* является процесс *кристаллизации*. Оба процесса протекают в растворе непрерывно и постоянно. Если скорость растворения больше скорости кристаллизации то

раствор называют ненасыщенным. При равенстве скоростей раствор называют насыщенным. В насыщенном растворе данное вещество больше не растворяется. Если скорость кристаллизации превышает скорость растворения, то раствор называют пересыщенным.

*Растворимость вещества* – это весовое количество вещества, которое необходимо растворить при данной температуре, что бы получить насыщенный раствор.

Растворимость зависит от температуры раствора, как показано на рис. 1.1. Для одних веществ растворимость падает, а для других растёт с увеличением температуры. Вещества, имеющие отрицательные коэффициенты растворимости, при нагревании будут выпадать в осадок и давать отложения на поверхностях нагрева.

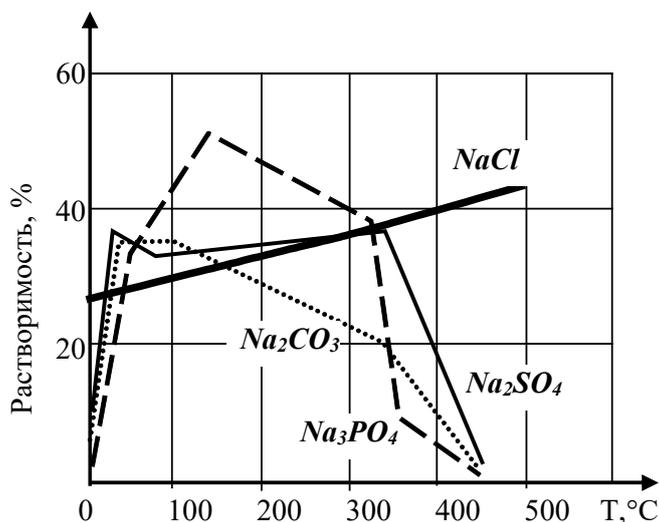


Рис.1.1. Растворимость некоторых натриевых солей

Количественно растворимость характеризуется коэффициентом растворимости. Коэффициент растворимости – это отношение массы вещества, образующего насыщенный при данной температуре раствор, к объёму растворителя.

### 1.2.2. Растворимость газов в воде

Газы, содержащиеся в воде подразделяют на:

Таблица 1.4

#### Классификация газов, содержащихся в воде

| химически взаимодействующие с водой                          | химически не взаимодействующие с водой  |
|--|---|
| аммиак (NH <sub>4</sub> ),<br>углекислота (CO <sub>2</sub> ) | азот (N <sub>2</sub> ),<br>кислород (O <sub>2</sub> ),<br>водород (H <sub>2</sub> ) |

Растворимость химически не взаимодействующих газов определяется Законом Генри – количество газа, растворенного при данной температуре в единице объема жидкости, пропорционально парциальному давлению этого газа над ней.

$$G = \alpha \rho \frac{P_i}{760} \quad (1.1)$$

где  $G$  – растворимость газа, мг/л;  $\alpha$  – коэффициент абсорбции, см<sup>3</sup>/л;  $\rho$  – плотность га-

за в норм. условиях,  $кг/м^3$ ;  $p$  - парциальное давление газа над жидкостью, мм.рт.ст.;  $i$  - индекс газа.

Для газов характерна следующая зависимость на рис. 1.2., отражающая влияние температуры на коэффициент абсорбции:

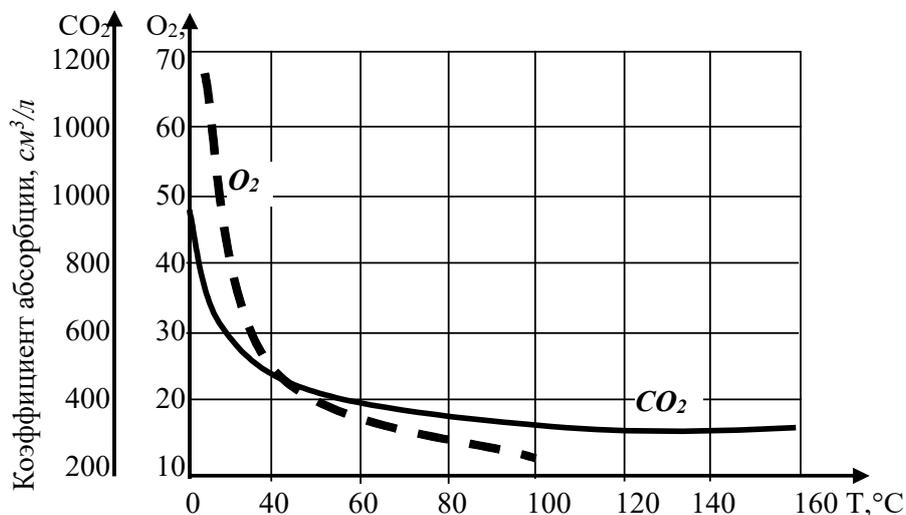


Рис. 1.2. Значения коэффициента поглощения (абсорбции) водой кислорода и диоксид углерода в зависимости от температуры воды

Таким образом, при подогреве воды до температуры насыщения коэффициент абсорбции газов падает, а значит, согласно закону Генри, снижается и растворимость газов.

Если обозначить:

$P_0$  – общее давление, мм.рт.ст.;  $P_{в.н.}$  – давление водяных паров, мм.рт.ст.;  $P_г$  – давление газа, мм.рт.ст.,  $n_i$  – число молей данного газа в смеси;  $n_0$  – общее число молей смеси.

Учитывая, что общее давление равно сумме парциальных давлений газов и водяных паров:  $P_0 = P_г + P_{в.н.}$ , а парциальное давление газа в смеси равно:  $P_i = P_г(n_i / n_0)$ , получим  $P_i = (P_0 - P_{в.н.})\varphi$ , тогда после преобразований ф-лы (1) получим:

$$G = \alpha \rho \frac{(p_0 - p_{в.н.}) \cdot \varphi}{760}, \quad (1.2)$$

Отношение числа молей газа и смеси  $n_i/n_0$  не зависит от температуры. Если воду нагревать, то  $P_{в.н.}$  будет увеличиваться, пока не наступит равенство  $P_0 = P_{в.н.}$ , характеризующее вскипание воды. Из (2) можно легко видеть, что растворимость газов при этом будет равна нулю. Начинается процесс выделения растворенных газов из воды, называемый деаэрацией.

### 1.2.3. Водородный показатель

В воде непрерывно протекает процесс ассоциации и диссоциации молекул воды:



Запишем выражение для константы равновесия, опираясь на закон действия масс:

$$K = [H^+] \cdot [OH^-] / [H_2O], \quad (1.3)$$

Концентрацию воды, принято исключать из данного выражения, вследствие ее практически постоянного значения в разбавленных растворах. Получаем новую константу равновесия  $K_w$ , которая называется ионным произведением воды. Установлено, что при 22°C ионное произведение воды  $K_w$ , равное произведению концентраций ионов  $H^+$  и  $OH^-$ , остается постоянным и составляет:

$$K_w = K \cdot [H_2O] = [H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14} \text{ (г-ион/л)} \quad , \quad (1.4)$$

где  $[H^+]$ ,  $[OH^-]$ ,  $[H_2O]$  – концентрации ионов гидроксония, гидроксид-ионов и молекул воды в г-ион/л (г-ион – это количество вещества, делённое на молекулярную массу)

Практическое значение ионного произведения воды велико, так как оно позволяет при известной кислотности (щёлочности) любого раствора (то есть при известной концентрации  $[H^+]$  или  $[OH^-]$ ) найти соответственно концентрации  $[OH^-]$  или  $[H^+]$ .

На следующем рисунке 1.3 наглядно показано зависимость характера среды от величины рН.



Рис. 1.3. Растворимость зависимость характера среды от величины рН

В случае равенства концентраций  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$  (г-ион/л) реакция среды считается нейтральной, и, таким образом, откуда  $-\lg [H^+] = 7$ .

Отрицательный десятичный логарифм концентрации ионов водорода называется водородным показателем. Обозначив его как  $pH = -\lg [H^+]$ , получим:

- если  $pH = 7$ , то раствор считается нейтральный;
- если  $pH < 7$ , то раствор считается кислый;
- если  $pH > 7$ , то раствор считается щелочной.

### 1.3. Основные показатели качества воды

Качество природных вод характеризуется показателями, определяемыми на основе физико-химического анализа воды в зависимости от предъявляемых к ней требований.

#### Сухой остаток S

Сухой остаток природных вод ( $S_{и.в.}$ ) характеризует содержание растворимых в воде минеральных и органических веществ (грубодисперсных). Единица измерения S, (мг/л). Наличие сухого остатка определяют путем выпаривания профильтрованной пробы воды и высушивания полученного остатка при 105–110 °C. Если этот остаток прокалить при 800 °C, то потери остатка будут условно характеризовать содержание в воде органических веществ. Чем выше сухой остаток, тем хуже качество воды.

Так же различают следующие виды остатков:

- *прокаленный* (вес сухого остатка без органики, прокаленного при 800 °C),
- *минеральный* (вес суммы катионов и анионов  $CO_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ )
- *сульфатный* (вес сульфатов, полученных после обработки сухого остатка серной

кислотой).

Приближенное значение сухого остатка  $S$  (в мг/кг) производят расчетно по эмпирической формуле

$$S = (Щ_0 + K) \times 50 + O_{\text{п}} \times 3,5 \quad (1.5)$$

где  $Щ_0$  — щелочность общая, определенная по п. 3.5.2, мг-экв/кг;  $K$  — кислотность, мг-экв/кг;  $O_{\text{п}}$  — перманганатная окисляемость, мг/кг  $O_2$ ; 50 — приближенный средневзвешенный эквивалент для всех катионов и анионов, обычно присутствующих в пресных водах, используемых для систем тепловодоснабжения; 3,5 — эмпирический коэффициент перевода показателя перманганатной окисляемости (в мг/кг  $O_2$ ) в показатель концентрации органических веществ.

### Жесткость Ж

Жесткость воды характеризует содержание катионов  $Mg^{2+}$  и  $Ca^{2+}$ .

$$Ж_0 = Ж_к + Ж_{\text{нк}}, \text{ мг-экв/кг} \quad (1.6)$$

где  $Ж_0$  - общая,  $Ж_к$  - карбонатная (временная),  $Ж_{\text{нк}}$  - некарбонатная (постоянная)

Единица измерения (мг-экв/кг) — количество миллиграмм эквивалент катионов жесткости, растворенных в 1 кг воды. (За 1 мг-экв/кг жесткости принимают содержание 28 мг  $Ca(CO_3)$  или 20 мг  $Mg(CO_3)$ ). Содержание в мг-экв/кг определяют как:

$$Ж = nC/\text{Э}, \text{ мг-экв/кг} \quad (1.7)$$

где  $nC$  — концентрация в мг/кг,  $\text{Э}$  — эквивалентная масса ( $\text{Э} = 20,04$  мг/кг  $Ca^{2+}$  или  $\text{Э} = 12,16$  мг/кг  $Mg^{2+}$ ).

*Общая жесткость* является наиболее важным показателем качества воды. Содержание катионов-накипеобразователей кальция  $Ca^{2+}$  и магния  $Mg^{2+}$  определяет жесткость воды.  $Ж_0$  подразделяется на карбонатную  $Ж_к$  и некарбонатную  $Ж_{\text{нк}}$ .

*Карбонатная (временная) жесткость  $Ж_к$*  вызывается наличием бикарбонатов кальция  $Ca(HCO_3)_2$  и магния  $Mg(HCO_3)_2$ , которые при нагревании разлагаются и выпадают в осадок. В котле превращаются в карбонаты ( $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ ), выпадающие в виде шлама и дающие газ  $CO_2$ .

*Некарбонатная (постоянная) жесткость  $Ж_{\text{нк}}$*  обусловлена наличием в воде сульфатов  $CaSO_4$ ,  $MgSO_4$ , хлоридов  $CaCl_2$ ,  $MgCl_2$ , силикатов  $CaSiO_3$  и др. солей. В котле образуют накипь.

Когда общая жесткость  $Ж_0$  больше концентрации  $HCO_3^-$ , выраженной в мг-экв/кг ( $Ж_0 > HCO_3^-$ ), карбонатная жесткость  $Ж_к$  определяется концентрацией  $HCO_3^-$  в мг-экв/кг.

Если в воде общая щелочность  $Щ_0$  больше общей жесткости, т.е.  $HCO_3^- > \sum(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ , карбонатную жесткость принимают равной общей жесткости, некарбонатная жесткость при этом равна нулю:  $Ж_к = Ж_0$ , а  $Ж_{\text{нк}} = 0$ .

Различают понятия кальциевой  $Ж_{Ca}$  и магниевой  $Ж_{Mg}$  жесткости. Они показывают концентрацию кальция или магния, содержащуюся в воде, выражается соответственно в мг-экв/кг.

Принята следующая градация природных вод по жесткости на рис. 1.4:

- до 1,5 мг-экв/кг — очень мягкая вода;
- от 1,5 до 3 мг-экв/кг — мягкая вода;
- от 3 до 6 мг-экв/кг — вода средней жесткости;
- от 6 до 10 мг-экв/кг — жесткая вода;
- свыше 10 мг-экв/кг — очень жесткая вода.

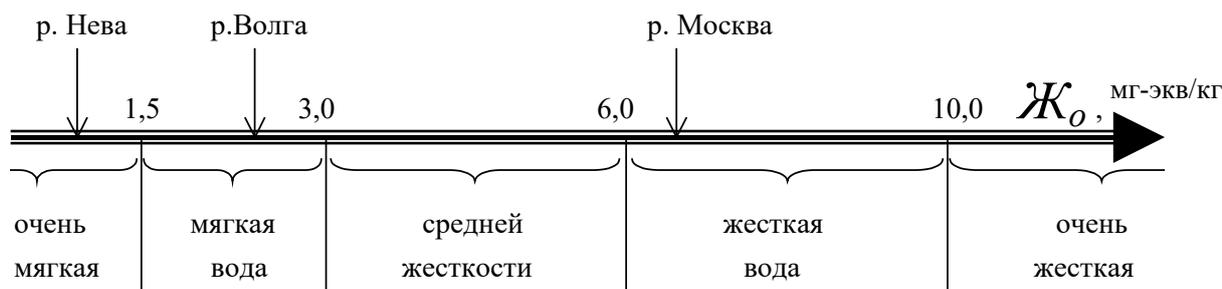


Рис. 1.4. Группы воды, в зависимости от показателя общей жесткости

Понятие остаточной жесткости применяется для воды, прошедшей умягчение или внутрикотловую обработку.

Определение общей и кальциевой жесткости. Некоторые красители (кислотный хром темно-синий, эриохром черный ЕТ-00) дают с катионами солей жесткости непрочные окрашенные соединения красного цвета. При добавлении в воду с подобными окрашенными соединениями раствора трилона Б в эквивалентной точке происходит их полное разрушение с изменением цвета раствора на синий. Трилон Б (кислая двузамещенная натриевая соль этилендиаминотетрауксусной кислоты) при  $pH > 9$  связывает во внутрикомплексные соединения катионы кальция и магния. В присутствии ионов цинка или меди (неотчетливый переход окраски) определение жесткости производят с прибавлением раствора сульфида натрия, связывающего эти катионы в нерастворимые сульфидные соединения. Влияние ионов марганца, приводящего к быстрому обесцвечиванию окраски, устраняют прибавлением к пробе раствора солянокислого гидросиламина.

Карбонатная жесткость  $J_k$  устанавливается расчетом на основании предварительно аналитически определенных значений общей жесткости  $J_{об}$  и общей щелочности  $Щ_{об}$ .

При этом возможны два случая:

- $J_{об}$  больше  $Щ_{об}$ .

В этом случае карбонатная жесткость  $J_k$  принимается равной щелочности общей  $Щ_{об}$ :

$$J_k = Щ_{об};$$

- $J_{об}$  меньше  $Щ_{об}$ .

В этом случае карбонатная жесткость  $J_k$  принимается равной жесткости общей  $J_{об}$ :

$$J_k = J_{об}.$$

Если в состав общей щелочности  $Щ_{об}$  анализируемой сетевой или подпиточной воды входит карбонатная щелочность  $Щ_k$  (это возможно только при  $pH$  больше 8,3, что соответствует наличию щелочной реакции воды при добавлении индикатора фенолфталеина), нормативно допустимое значение карбонатной жесткости устанавливается по черт. 1.5. Для этого на горизонтальной оси графика находят точку, соответствующую аналитически найденному значению  $Щ_k$ . От указанной точки проводится вертикаль до точки пересечения с кривой, соответствующей фактической температуре сетевой воды на выходе из водогрейного котла  $t$  ( $^{\circ}C$ ).

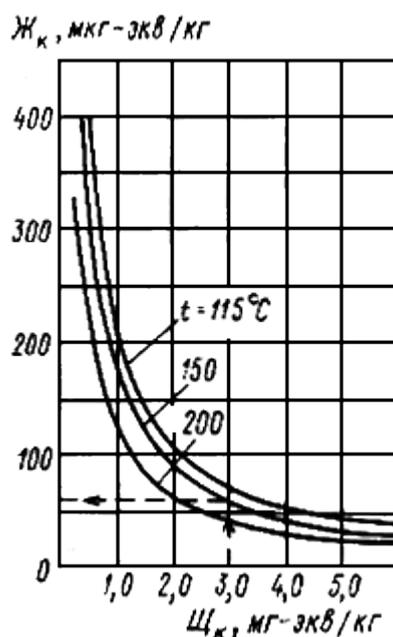


Рис. 1.5. Нормы жесткости

$t$  - температура воды на выходе из котла;  $Ж_k$  - жесткость карбонатная;  $Щ_k$  - щелочность карбонатная

На вертикальной оси находят искомое значение предельно допустимой карбонатной жесткости в микрограмм-эквивалентах на килограмм.

### Щелочность Щ

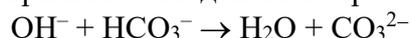
Щелочность характеризует содержание веществ, обуславливающих повышенное содержание ионов  $OH^-$ .

$$Щ_0 = Щ_k + Щ_б + Щ_г, \text{ мг-экв/кг}, \quad (1.8)$$

где  $Щ_0$  – общая,  $Щ_k$  – карбонатная,  $Щ_б$  – бикарбонатная,  $Щ_г$  – гидратная щелочность.

Общей щелочностью воды называют сумму содержащихся в ней гидроксильных ионов  $OH^-$  анионов и слабых кислот (бикарбонатов  $HCO_3^-$ , карбонатов  $CO_3^{2-}$ ).

В составе общей щелочности не могут одновременно присутствовать гидроксильный и бикарбонатный ионы, так как при их взаимодействии протекает реакция



Карбонатная щелочность обусловлена содержанием анионов  $CO_3^{2-}$  и  $HCO_3^-$ .

Бикарбонатная щелочность обусловлена содержанием анионов  $CO_2^-$ .

Гидратная щелочность обусловлена содержанием анионов  $OH^-$ .

Относительной щелочностью воды называется общая щелочность, пересчитанная на гидрат натрия (едкий натр)  $NaOH$ , отнесенная к сухому остатку воды и выраженная в процентах.

$$Щ_{от} = (Щ_0 \cdot 40 \cdot 100) / S, \% \quad (1.9)$$

где 40 – эквивалент  $NaOH$ , кг/мг-экв,  $S$  - сухой остаток, мг/кг.

Определение щелочности воды основано на титровании растворенных в воде щелочных соединений кислотой в присутствии индикаторов, меняющих свою окраску в зависимости от реакции среды. При титровании с метилоранжем или смешанным индикатором определяется общая щелочность  $Щ_0$ , условно характеризующая суммарное содержание в воде бикарбонатов, карбонатов, гидратов.

При титровании с фенолфталеином определяются полностью гидраты и половина карбонатов. Данные по изменению цвета индикаторов в зависимости от pH среды приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

## Изменение цвета индикаторов

| Индикаторы   | Окраска при реакции среды |          |              | Интервал перехода рН |
|--------------|---------------------------|----------|--------------|----------------------|
|              | кислой                    | щелочной | нейтральной  |                      |
| Фенолфталеин | Бесцветная                | Розовая  | Бесцветная   | 8,2-10               |
| Метилоранж   | Розовая                   | Желтая   | Оранжевая    | 3,1—4,4              |
| Смешанный    | Фиолетовая                | Зеленая  | Грязно-серая | 4,2—6,2              |

Карбонатная щелочность определяется расчетом на основании известных значений щелочности по фенолфталеину  $Щ_{фф}$  и общей щелочности  $Щ_{об}$ , найденных аналитически по табл. 1.6.

Таблица 1.6

**Определение карбонатной щелочности в зависимости от щелочности общей и щелочности по фенолфталеину**

| Соотношение $Щ_{фф}$ и $Щ_{об}$ | Расчетное значение $Щ_{к}$   |
|---------------------------------|------------------------------|
| $Щ_{фф} = 0$                    | $Щ_{к} = 0$                  |
| $Щ_{фф} < 0,5Щ_{об}$            | $Щ_{к} = 2Щ_{фф}$            |
| $Щ_{фф} = 0,5Щ_{об}$            | $Щ_{к} = Щ_{об}$             |
| $Щ_{фф} > 0,5Щ_{об}$            | $Щ_{к} = 2(Щ_{об} - Щ_{фф})$ |
| $Щ_{фф} = Щ_{об}$               | $Щ_{к} = 0$                  |

**Водородный показатель рН**

Уровень рН характеризует концентрацию ионов водорода. Концентрация водородных ионов ( $H^+$ ) является наиболее важным показателем при всех видах обработки воды. Она определяет реакцию воды (щелочная она или кислая): нейтральная –  $pH = 7$ ; слабокислая –  $pH = 4-6$ ; слабощелочная –  $pH = 8-10$ .

Для нормирования качества подпиточной и сетевой воды согласно Правилам ГГТН достаточно иметь возможность приблизительно определять следующие значения рН: меньше 7,0; меньше 8,3; больше 8,3; меньше 11,0; больше 11,0.

Различают следующие группы воды, в зависимости от показателя рН на рис. 1.6.



Рис. 1.6. Группы воды, в зависимости от показателя рН

Распространенный способ по изменению цвета индикаторной бумаги.

Некоторые органические вещества—красители—меняют свою окраску в определенном диапазоне изменений рН. Используемые для определения щелочности растворы индикаторов (метилоранж, смешанный индикатор, фенолфталеин) изменяют свою окраску в диапазонах рН, указанных в табл. 1.7.

Универсальная индикаторная бумага, пропитанная растворами различных индикаторов, меняет свою окраску путем перехода через ряд цветов, воспроизведенных в специаль-

ной эталонной шкале.

Для определения значения рН в испытуемую воду опускают универсальную индикаторную бумагу. Ее окраску сравнивают с окраской одного из эталонов, имеющих в пакете индикаторной бумаги. Правильность показаний индикаторной бумаги можно проверить путем контрольного определения рН с применением растворов индикаторов согласно данным табл. 1.7.

Таблица 1.7

**Рекомендуемые индикаторы**

| Индикатор    | Окраска индикатора при рН |              |               |              |               |              |
|--------------|---------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
|              | меньше 4                  | 4-6          | 6-7           | 7-8          | 8,3           | больше 9,0   |
| Фенолфталеин | Бесцветная                |              |               |              | Слабо-розовая | Ярко-розовая |
| Смешанный    | Фиолетовая                | Грязно-серая | Слабо-зеленая | Ярко-зеленая |               |              |
| Метилоранж   | Розовая                   | Оранжевая    | Соломенная    | Желтая       |               |              |

Для нормирования качества подпиточной и сетевой воды согласно Правилам ГТН достаточно иметь возможность приблизительно определять следующие значения рН: меньше 7,0; меньше 8,3; больше 8,3; меньше 11,0; больше 11,0.

Наиболее точные и оперативные измерения выполняют с помощью электронных рН-меров или иономеров.

**Растворенные газы**

При обработке воды необходимо обратить внимание на растворенные в ней газы: углекислоту, кислород, сероводород. Природные воды являются водами стабильными, в них  $CO_2$  и  $HCO_3^-$  находятся в равновесном состоянии. Растворенные газы необходимо удалять из воды путем ее дегазации термическим или химическим методами.

*Диоксид углерода  $CO_2$*  при растворении в воде образует угольную кислоту с последующим образованием ионов водорода (способствуют протеканию электрохимической коррозии) и карбонатов (подкисливающих среду - снижают рН):



Углекислота вызывает интенсивную коррозию металла труб, особенно при  $T \geq 40$  °С, и разрушение бетона.

*Кислород  $O_2$* , растворенный в воде, является основным фактором скорости коррозии металлических элементов котла. В нейтральной или щелочной среде ( $pH > 7$ ) кислородная коррозия имеет локальный характер (язвенная коррозия). Продукты коррозии имеют больший объем, поэтому на месте коррозии образуются бугорки. В кислой среде ( $pH < 7$ ) коррозия имеет более равномерно распределенный характер.

Концентрация кислорода в воде зависит от парциального давления его в воздухе и температуры воды. Присутствие в воде кислорода интенсифицирует процессы коррозии материала труб и различного оборудования. Коррозионные процессы в железе вызываются микрогальваническими парами, возникающими при наличии примесей, например углерода.

*Сероводород  $H_2S$*  содержится в природных водах в различных количествах. На большой глубине встречаются воды со значительным содержанием сероводорода, в основном минерального происхождения. Поверхностные воды загрязнены лишь следами сероводорода, попадающими, главным образом, со стоками.

Сероводород придает воде неприятный запах, вызывает развитие серобактерий (загрязнение труб) и интенсифицирует процесс коррозии металлов.

Определение содержания растворенного кислорода. Восстановленная форма инди-

гокармина—лейкосоединение золотисто-желтого цвета при окислении за счет растворенного в воде кислорода меняет свою окраску до темно-синей. Определение основано на связывании растворенного в воде кислорода восстановленной формой индигокармина (лейкосоединение) с последующим колориметрированием окраски образующегося раствора индигокармина с окраской серии стандартных растворов по табл. 1.8.

Таблица 1.8

**Эталонная шкала для определения кислорода**

| Концентрация кислорода, мкг/кг | Объем раствора индигокармина, мл | Объем раствора пикриновой кислоты, мл |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 0                              | 0                                | 1,50                                  |
| 10                             | 0,11                             | 1,39                                  |
| 20                             | 0,22                             | 1,28                                  |
| 40                             | 0,45                             | 1,05                                  |
| 60                             | 0,68                             | 0,82                                  |
| 80                             | 0,90                             | 0,60                                  |
| 100                            | 1,12                             | 0,38                                  |

Метод используют для определения содержания кислорода в пределах 10—100 мкг/кг O<sub>2</sub>.

### **Прозрачность**

Прозрачность характеризует содержание взвешенных веществ.

Определяется путем наблюдения через специальный стеклянный сосуд, заполненный пробой воды, проволочного кольца диаметром 20 мм, выполненной из проволоки толщиной 2 мм, покрытой черным лаком и укрепленного на линейке. Проволочное кольцо опускают до тех пор, пока контуры кольца сделаются невидимыми. Глубина погружения кольца в сантиметрах соответствует численному значению прозрачности воды «по кольцу». Кроме того, различают прозрачность "по шрифту" или "по кресту" при этом сквозь пробу воды наблюдают шрифт или крестообразно расположенные на белой бумаге черные полосы соответственно.

Единица измерения (см) – высота столба пробы воды, через который различается шрифт.

В табл. 1.9 приведены значения этого показателя, пересчитанные на прозрачность «по шрифту».

Таблица 1.9

**Шкала сопоставления прозрачности, см**

| «По кольцу» | «По шрифту» | «По кольцу» | «По шрифту» |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2           | 0,5         | 21          | 15          |
| 4           | 2           | 24          | 17          |
| 6           | 3           | 26          | 18          |
| 8           | 5           | 29          | 20          |
| 10          | 6           | 30          | 21          |
| 12          | 8           | 32          | 23          |
| 16          | 11          | 36          | 26          |
| 20          | 14          | 41          | 30          |

### **Окисляемость**

Окисляемость – характеризует содержание органических веществ.

Единица измерения (мг/кг) – количество перманганата калия на окисление органических соединений 1 кг воды.

Окисляемость воды – условный косвенный показатель степени загрязненности воды органическими веществами. Определяется путем измерения количества окислителя (обычно

перманганат калия  $KMnO_4$ ) необходимого для окисления органических соединений в пробе воды. Определение перманганатной окисляемости воды основано на окислении органических веществ, содержащихся в воде, перманганатом калия (в кислой среде). Окисление различных органических веществ, содержащихся в природной воде, происходит с неодинаковой степенью полноты. Тем не менее, в связи с близостью содержания органических веществ в природных водах отдельных водоисточников показатель окисляемости воды является достаточно представительным для косвенной оценки степени ее загрязненности этими веществами. Приближенное знание окисляемости воды необходимо для правильного нормирования карбонатной жесткости  $J_k$  сетевой и подпиточной воды.

### Прочие показатели

К менее распространенным контролируемым параметрам воды относят показатели, отражающие содержание:

кремния, железа, меди, натрия, хлоридов, масел и тяжелых нефтепродуктов.

Методы анализа воды указаны в табл. 1.10.

Таблица 1.10

### Рекомендуемые методы аналитических определений

| На именование                                      | Метод определения   |
|--|---|
| Прозрачность, см                                   | «По кольцу», «По шрифту»  |
| Щелочность по фенолфталеину и общая, мг-экв/кг     | Титрование кислотой   |
| Щелочность карбонатная, мг-экв/кг                  | Расчетный   |
| Жесткость общая и кальциевая, мг-экв/кг            | Трилометрическое титрование   |
| Жесткость карбонатная, мг-экв/кг                   | Расчетный   |
| Хлориды $Cl^-$ , мг/кг                             | Аргентометрический меркуриметрического  |
| Кислород, мкг/кг                                   | Индигокарминовый  |
| Соединения железа (в пересчете на Fe), мкг/кг      | Сульфосалициловый   |
| pH, единицы pH                                     | По универсальному индикатору С использованием иономера  |
| Солесодержание, мг/кг                              | Расчетный по щелочности и кислотности** Н-катионированной пробы, по методу измерения удельной электропроводимости |
| Сульфаты $SO_4^{2-}$ , мг/кг                       | Расчетный по кислотности Н-катионированной пробы  |
| Жесткость условная сульфатно-кальциевая, мг-экв/кг | Расчетный   |
| Окисляемость перманганатная $O_2$ , мг/кг          | Перманганатный  |
| Нефтепродукты, мг/кг                               | Колориметрический с экстрагированным четыреххлористым углеродом   |

## 1.4. Накипеобразование

Коррозионный слой и отложения увеличивают потребление топлива, снижают надежность, эффективность и работоспособность теплообменного оборудования и трубопроводов. Образование отложений может полностью блокировать работу системы, привести к закупориванию, ускорить коррозию и привести к местным перегревам, прогарам и разрывам котлов и труб.

В процессе нагрева и испарения воды могут протекать процессы выпадения некоторых веществ в осадок:

- *на внутренних стенках* поверхностей нагрева (*накипь*) – ухудшают теплообмен, вызывают перегрев металла труб, уменьшающий его прочность. Бывают случаи, когда через 3–4 месяца эксплуатации коэффициент полезного действия котлов падает до 50–60% и система нуждается в отмывке. Соли постоянной жесткости, находящиеся в воде, достигая предела растворимости выпадают в осадок и образуют трудно растворимые соединения (*накипь*). Образовавшаяся котловая накипь имеет различный состава (силикатная, сульфатная, карбонатная и смешанная) с коэффициентом теплопроводности от 0,2 до 5,0 Вт/(м·К) ( $\lambda_{ст} = 45$  Вт/(м·К)).

Заращение отложениями трубопроводов тепловых систем приводит к значительному увеличению их гидравлического сопротивления, разрегулированию системы и большим энергетическим потерям на прокачку системы. При постоянном расходе с развитым турбулентным режимом течения в трубах потери давления в них возрастают обратно пропорционально внутреннему диаметру трубы в 5 степени. Это приводит к значительному перерасходу энергии насосными системами;

- *в толще воды* в виде взвешенных частиц (*шлам*) с последующим оседанием на внутренних поверхностях стенок труб – удаляется вместе с продувочной водой из солевого отсека либо из нижнего барабана.

Наличие накипи на внутренней поверхности стальных труб и чугунных секций ведет к их перегреву и выходу из строя. Кроме того, снижается коэффициент теплопередачи, перерасходуется топливо и снижается КПД котла. По экспертным данным 1 мм накипи может приводить к снижению КПД на 2–3 % при толщине 5 мм 8,5–9,0 %.

При работе котельной на сырой воде, без предварительной обработки, уже через 8–10 дней эксплуатации толщина накипи достигает 1,0–1,2 мм.

Химический состав накипей весьма разнообразен:

- Щелочноземельные (соединения кальция и магния -  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  и т. п.
- Железоокисные -  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
- Медные;
- Силикатные.

Очистка от накипи может осуществляться двумя способами:

*механический способ*, ручной и механизированный;

*химический способ*; содово-щелочной (сода, каустик, фосфат (2 кг на 1 м<sup>3</sup> воды и кипячение в течении 30–48 часов с последующей промывкой и механической очисткой рыхлой накипи); фосфатный метод; кислотный метод (используются – соляная, серная, хромовая, фосфорная кислоты, добавкой ингибиторов коррозии, например, столярный клей, жидкое стекло).

Для предотвращения образования накипи в котлах используют следующие мероприятия:

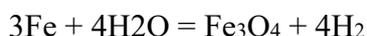
- глубокое умягчение подпиточной воды;
- внутрикотловая коррекционная обработка воды;
- предотвращение загрязнения воды продуктами коррозии конструкционных материалов;
- устранение высоких тепловых нагрузок поверхностей нагрева.

Наибольшее распространение в котельных малой и средней мощности получила докотловая водоподготовка катионного обмена типа – натрий-катионирования, позволяющая снижать общую жесткость исходной воды до требуемой. Широкому распространению ее способствовали простота и надежность в эксплуатации, возможность применения в котельных с чугунными и стальными котлами.

## 1.5. Внутренняя коррозия

*Коррозией* металлов называют разрушение их под воздействием окружающей среды (воды, топочных газов) в результате химических или электрохимических процессов. При этом разрушение поверхности металла, вызванное механическим воздействием, называется эрозией.

*Химическая коррозия* обусловлена чисто химическими процессами окисления металла. Например, окисление железа при 350 °С протекает по следующей реакции:



*Электрохимическая коррозия* протекает в растворе электролитов при наличии металлических участков с различными потенциалами. Реакции электрохимической коррозии:



*Внутренняя коррозия* поверхностей нагрева обусловлена взаимодействием химических соединений и газов, растворенных в воде.

Классификация видов коррозии:

○ по причине возникновения:

- кислородная и углекислая, связанная с наличием в воде  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}_2$  – на всей влажной поверхности, более интенсивная вблизи лазов.

*Кислород*, растворенный в воде, является основным фактором скорости коррозии металлических элементов котла. В нейтральной или щелочной среде ( $\text{pH} > 7$ ) кислородная коррозия имеет локальный характер (язвенная коррозия). Продукты коррозии имеют большой объем, поэтому на месте коррозии образуются бугорки. В кислой среде ( $\text{pH} < 7$ ) коррозия имеет более равномерно распределенный характер.

*Диоксид углерода* при растворении в воде образует угольную кислоту с последующим образованием ионов водорода (способствуют протеканию электрохимической коррозии) и карбонатов (подкисливающих среду - снижают  $\text{pH}$ ):



При неудовлетворительной работе деаэраторов наиболее сильно кислородной коррозии подвержены стальные экономайзеры. Характерной формой кислородной коррозии является язвенная коррозия, приводящая к образованию свищей, через которые с большой скоростью вытекает вода. Подобные струи, направленные на соседние трубы способны изнашивать (трубы подвергаются эрозии) вплоть до сквозных отверстий.

- стояночная – возникает в период простоя котла.

Котельные агрегаты в простое поражаются электрохимической коррозией, получившей название стояночной. При останове котла в резерв давление в нем падает и в барабане создается вакуум, вызывающий проникновение кислорода в котел, и таким образом вызывает кислородную коррозию.

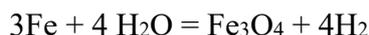
Даже после удаления воды из котла в результате колебания температуры и влажности вызывает конденсацию влаги из воздуха на внутренней поверхности котла. Наличие водяной пленки, обогащенной кислородом воздуха, создает благоприятные условия электрохимической коррозии.

Опасность стояночной коррозии заключается еще и в том, что коррозионные очаги, возникшие в период простоя котла, продолжают действовать и в процессе работы.

Для предотвращения стояночной коррозии производят консервацию котла на

период простоя. Среди основных способов консервации различают следующие:

- сухой способ – удаление воды и осушение котла, закладка в барабаны влагопоглотителей ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaO}$ , селикагель).
  - заполнение котла деарированной водой и консервация его под давлением для предотвращения поступления кислорода.
  - обработка внутренних поверхностей раствором нитратом натрия ( $\text{NaNO}_2$ ) - пассивация металла.
  - заполнение котла раствором гидразина ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ), аммиака, трилона Б, комплексо-нами или азотом.
- межкристаллитная – в местах механических напряжений металла в агрессивной среде  
Возникает в заклепочных швах и вальцовочных соединениях в виде тонких трещин, проходящих между зернами (кристаллитами) металла без видимых деформаций, впоследствии приводящих к тяжелым авариям.  
*Условия возникновения межкристаллитной коррозии:*
    - высокие растягивающие напряжения в металле (возникают при неравномерном или быстром нагревании или охлаждении, отсутствия возможности температурных перемещений);
    - неплотности в заклепочных и вальцовочных соединениях (возникают при неравномерном или быстром нагревании или охлаждении, отсутствия возможности температурных перемещений);
    - агрессивность котловой воды (высокая щелочность  $\text{Щ}_{\text{от}} > 20\%$ ).*Меры предупреждения:*
    - устранение неравномерного нагрева или охлаждения,
    - наблюдение за температурным перемещением элементов котельного агрегата,
    - выполнение правил остановки и пуска агрегата,
    - замена клепанных барабанов сварными
    - пассивация металла (защита) путем добавление в котловую воду натриевой селитры  $\text{NaNO}_2$  (так называемый "нитратный режим") Используется до 7 МПа.
  - пароводяная – разрушение металла водяным паром при температуре выше  $400^\circ\text{C}$ . Приводит к трещинообразованию и охрупчиванию металла.



Основным условием возникновения является высокая температура. В свою очередь причинами возникновения высоких температур может быть нарушение циркуляции, высокие плотности тепловых потоков (более  $230\text{кВт}/\text{м}^2$ ), появление пленочного режима кипения.

- подшламовая – под наносами-"лепёшками" железистых отложений в экранных трубах и в опускных трубах.  
Протекает под слоем шлама, выделяющегося из плохо очищенной котловой воды (содержащей взвешенные вещества). Имеет язвенный характер распространения.
- нитритная – вследствие содержания  $\text{NO}_2$  и  $\text{NO}_3$ .
  - по характеру распространения различают коррозию: равномерную, неравномерную (пятнами, язвенную, точками, избирательную, межкристаллическую), местную.

С увеличением давления интенсивность коррозии увеличивается. Наличие щелочи усиливает локализацию коррозии, а присутствие хлоридов рассредоточивает ее по поверхности.

Температура среды так же оказывает существенное влияние на интенсивность коррозии. При этом большое значение имеет наличие кислорода в воде как показано на рис. 1.8.

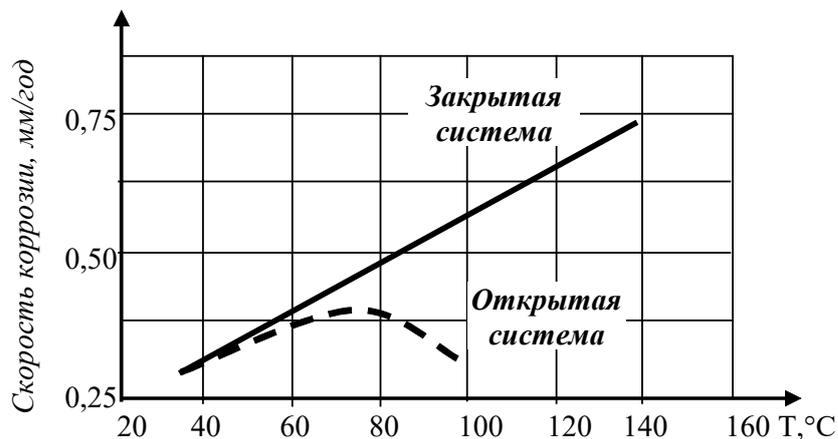


Рис. 1.8. Влияние температуры воды на скорость коррозии металла

Факторы, влияющие на интенсивность коррозии как показаны на рис. 1.9.



Рис. 1.9. Факторы, влияющие на интенсивность коррозии

Основная причина загрязнения внутренних поверхностей связана с неправильной организацией питания (несоответствующее качество воды) котлов:

- оптимальные значения  $pH = \pm 0,1$  (по режимной карте);
- относительная щелочность котловой воды – 20 % или применение пассиваторов межкристаллической коррозии (селитра);
- обеспечение кратности упаривания воды в паровом котле;
- предупреждение попадания на стенки барабана котла «холодной» воды;
- медленная растопка котла с регистрацией температуры питательной воды и обечайки барабана котла;
- контроль за качеством металла и соединений, отсутствием очагов (язв), подшламовой коррозии возле сварных соединений;
- проверка состояния термозащитного экрана барабана котла (торкредда);
- снижение местных тепловых напряжений поверхностей нагрева;
- обеспечение надежной циркуляции пароводяной эмульсии в котле.

## 1.6. Требования к качеству сетевой, питательной, котловой воды и пару

Нормы качества воды, используемой в теплоэнергетическом оборудовании, регламентируются рядом нормативно-технических документов. Согласно СП 89.13330.2016 «Котельные установки»:

Водно-химический режим работы котельной должен обеспечивать работу котлов, пароводяного тракта, теплоиспользующего оборудования и тепловых сетей без коррозионных повреждений и отложений накипи и шлама на внутренних поверхностях, получение пара и воды требуемого качества.

### Нормы качества сетевой воды

Нормы качества воды для заполнения и подпитки тепловых сетей, систем отопления и контуров циркуляции водогрейных котлов должны удовлетворять требованиям Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей и СП 124.13330.2012 «Тепловые сети», а также требованиям инструкций заводов изготовителей по эксплуатации водогрейных котлов.

Вода для подпитки тепловых сетей открытых систем теплоснабжения и систем горячего водоснабжения должна отвечать ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая». (на все вводимые реагенты должны быть гигиенические сертификаты).

Нормы качества подпиточной воды для тепловых сетей даны в табл. 1.12.

Ниже приведены нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов и питательной воды водотрубных котлов с естественной циркуляцией с рабочим давлением пара до 4 МПа.

Таблица 1.12

### Нормы качества подпиточной и сетевой воды для водогрейных котлов

| Показатель   | Система теплоснабжения       |              |            |                             |            |            |
|--|------------------------------|--------------|------------|-----------------------------|------------|------------|
|  | Открытая                     |              |            | Закрытая                    |            |            |
|  | Температура сетевой воды, °С |              |            |                             |            |            |
|  | 125                          | 150          | 200        | 115                         | 150        | 200        |
| Прозрачность по шрифту, см, не менее                     | 40                           | 40           | 40         | 30                          | 30         | 30         |
| Карбонатная жесткость, мкг-экв/кг:                       | 800                          | 750          | 375        | 800                         | 750        | 375        |
| при рН не более 8,5                                      | 700                          | 600          | 300        | 700                         | 600        | 300        |
| при рН более 8,5   | Не допускается               |              |            | По расчету РД 24.031.120-91 |            |            |
| Содержание растворенного кислорода, мкг/кг               | 50                           | 30           | 20         | 50                          | 30         | 20         |
| Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг | 300                          | <u>300</u> * | <u>250</u> | <u>600</u>                  | <u>500</u> | <u>375</u> |
|  |                              | 250          | 200        | 500                         | 400        | 300        |
| Значение рН при 25 °С                                    | От 7,0 до 8,5                |              |            | От 7,0 до 11,0              |            |            |
| Содержание нефтепродуктов, мг/кг                         | 1,0                          |              |            |                             |            |            |

### Нормы качества котловой воды

Показатели качества пара и питательной воды паровых котлов должны соответствовать требованиям ФНП «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» Ростехнадзора и ГОСТ 20995–75 «Котлы паровые стационарные давлением до 4 МПа. Показатели качества питательной воды и пара».

Показатели качества питательной воды газотрубных котлов приведены в табл. 1.13.

Для водотрубных котлов с естественной циркуляцией (в том числе котлов-бойлеров) с рабочим давлением пара до 4 МПа (40 кгс/см<sup>2</sup>) – в табл. 1.14;

Таблица 1.13

**Нормы качества питательной воды для водотрубных котлов с естественной циркуляцией и рабочим давлением пара до 4 МПа (40 кгс/см<sup>2</sup>)**

| Показатель   | Рабочее давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ) |                                       |                     |                                      |
|--|--|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
|  | 0,9 (9)                                      | 1,4 (14)                              | 2,4 (24)            | 4 (40)                               |
| 1  | 2  | 3                                     | 4                   | 5                                    |
| Прозрачность по шрифту, см, не менее   | 30   | 40                                    | 40                  | 40                                   |
| Общая жесткость, мкг-экв/кг  | $\frac{30^1}{40}$                            | $\frac{15^4}{20}$                     | $\frac{10^4}{15}$   | $\frac{5^4}{10}$                     |
| Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг   | Не нормируется                               | $\frac{300^4}{\text{Не нормируется}}$ | $\frac{100^4}{200}$ | $\frac{50^4}{100}$                   |
| Содержание соединений меди (в пересчете на Cu), мкг/кг   | Не нормируется                               |                                       |                     | $\frac{10^4}{\text{Не нормируется}}$ |
| Содержание растворенного кислорода (для котлов паропроизводительностью 2 т/ч и более) <sup>2</sup> , мкг/кг  | $\frac{50^4}{100}$                           | $\frac{30^4}{50}$                     | $\frac{20^4}{50}$   | $\frac{20^4}{30}$                    |
| Значение рН при 25 °С <sup>3</sup>   | 8,5–10,5                                     |                                       |                     |                                      |
| Содержание нефтепродуктов, мг/кг   | 5  | 3                                     | 3                   | 0,5                                  |
| <p><sup>1</sup> В числителе указаны значения для котлов, работающих на жидком топливе, знаменателе - на других видах топлива.</p> <p><sup>2</sup> Для котлов, не имеющих экономайзеров, и для котлов с чугунными экономайзерами содержание растворенного кислорода допускается до 100 мкг/кг при сжигании любого вида топлива.</p> <p><sup>3</sup> В отдельных случаях, обоснованных специализированной организацией, может быть допущено снижение значения рН до 7,0.</p> <p><sup>4</sup> Для водотрубных котлов с рабочим давлением пара 1,8 МПа (18 кгс/см<sup>2</sup>) жесткость не должна быть более 15 мкг-экв/кг.</p> |  |                                       |                     |                                      |

Таблица 1.14

**Нормы качества питательной воды водотрубных котлов с естественной циркуляцией с рабочим давлением пара 10 МПа**

| Показатель   | Для котлов, работающих |                         |
|--|------------------------|-------------------------|
|  | на жидком топливе      | на других видах топлива |
| Общая жесткость, мкг-экв/кг                              | 1                      | 3                       |
| Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг | 20                     | 30                      |
| Содержание соединений меди (в пересчете на Cu), мкг/кг   | 5                      | 5                       |
| Содержание растворенного кислорода, мкг/кг               | 10                     | 10                      |
| Значение рН при 25 град. С <*>                           | 9,1 +/- 0,1            | 9,1 +/- 0,1             |
| Содержание нефтепродуктов, мкг/кг                        | 0,3                    | 0,3                     |

Таблица 1.15

**Нормы качества питательной воды для паровых газотрубных котлов**

| Показатель  | Для котлов, работающих |                         |
|---|------------------------|-------------------------|
|   | на жидком топливе      | на других видах топлива |
| Прозрачность по шрифту, см, не менее  | 40                     | 20                      |
| Общая жесткость, мкг·эquiv/кг   | 30                     | 100                     |
| Содержание растворенного кислорода (для котлов паропроизводительностью 2 т/ч и более), мкг/кг | 50*                    | 100                     |

\* Для котлов, не имеющих экономайзеров, и котлов с чугунными экономайзерами содержание растворенного кислорода допускается от 100 мкг/кг.

Таблица 1.16

**Нормы качества питательной воды энерготехнологических котлов и котлов-утилизаторов с рабочим давлением пара 11 МПа [6].**

| Показатель  | Значение    |
|---|-------------|
| Общая жесткость, мкг·эquiv/кг                                     | 3           |
| Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг          | 30          |
| Содержание растворенного кислорода, мкг/кг                        | 10          |
| Значение рН при 25 град. С  | 9,1 +/- 0,1 |
| Условное солесодержание (в пересчете на NaCl), мкг/кг <***>       | 300         |
| Удельная электрическая проводимость при 25 град. С, мкСм/см <***> | 2,0         |
| Содержание нефтепродуктов, мг/кг                                  | 0,3         |

Нормы качества котловой воды, необходимый режим ее коррекционной обработки, режимы непрерывной и периодической продувок принимаются на основании инструкции организации – изготовителя котла, типовых инструкций по ведению водно-химического режима и других ведомственных нормативных документов или на основании результатов теплотехнических испытаний.

Допускаемую величину относительной щелочности котловой воды паровых котлов следует устанавливать в соответствии с Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов.

При этом для паровых котлов с давлением до 4 МПа (40 кгс/см<sup>2</sup>) включительно

- имеющих заклёпочные соединения, относительная щелочность котловой воды не должна превышать 20 %;
- для котлов со сварными барабанами и креплением труб методом вальцовки (или вальцовкой с уплотнительной подваркой) относительная щелочность котловой воды допускается до 50 %
- для котлов со сварными барабанами и приварными трубами относительная щелочность котловой воды не нормируется

Для паровых котлов давлением свыше 4 МПа (40 кгс/см<sup>2</sup>) до 10 МПа (100 кгс/см<sup>2</sup>) включительно относительная щелочность котловой воды не должна превышать 50%

Для котлов давлением свыше 10 МПа (100 кгс/см<sup>2</sup>) до 14 МПа (140 кгс/см<sup>2</sup>) включительно не должна превышать 30%.

К основным контролируемым параметрам питательной и котловой воды относят:

прозрачность по шрифту, карбонатную жесткость, условную сульфатно-кальциевую жесткость, содержание растворенного кислорода, содержание свободной углекислоты, содержание соединений железа (в пересчете на Fe), значение pH, содержание нефтепродуктов и масел, общую жесткость, содержание соединений меди (в пересчете на Cu), условное солесодержание (в пересчете на NaCl).

Эксплуатация котлов без докотловой или внутрикотловой обработки воды запрещается.

Неотъемлемой частью правильно организованного воднохимического режима является система постоянного и представительного химического контроля.

Установленный водно-химический режим должен обеспечивать максимально возможное предупреждение образования всех типов отложений на внутренних поверхностях котлов и на всех элементах тракта сетевой воды, включая отопительные приборы и радиаторы, предотвращение всех типов коррозионных повреждений внутренних поверхностей и соблюдение установленных показателей качества сетевой и подпиточной воды при минимальном удельном объеме сточных вод водотеплоснабжающей установки.

В табл. 1.17 приведены рекомендуемые значения основных показателей для котловой воды различных типов котлов.

Таблица 1.17

**Требования к качеству котловой воды паровых котлов**

| Типы котлов  | Допустимый сухой остаток в продувке, мг/кг, при сепарирующих устройствах и ступенчатом испарении |  |  | Общая щелочность      |                  |
|--|--|--|--|-----------------------|------------------|
|  | механических и без ступенчатого испарения  | механических и при двухступенчатом внутри барабана | механических или при промывке пара и при ступенчатом в выносных циклонах | абсолютная, мг-экв/кг | относительная, % |
| Чугунные секционные паровые с $p \leq 0,17$ МПа (1,7 кгс/см <sup>2</sup> )                   | Не регламентированы  |  |  |                       |                  |
| Жаротрубные и газотрубные с $p \leq 0,8$ МПа (8 кгс/см <sup>2</sup> )                        | 4000–16000*  | –  | –  | 30–80                 | $\leq 50$        |
| Водотрубные экранированные с нижним барабаном при $p \leq 1,4$ МПа (14 кгс/см <sup>2</sup> ) | 2000–4000  | 3000–7000  | 5000–10000   | 15–30                 | $< 20$           |
| Водотрубные экранированные без нижних барабанов с $p \leq 1,4$ МПа (14 кгс/см <sup>2</sup> ) | 1000–2000  | 1500–3000  | 3000–8000  | 10–15                 | $< 20$           |
| То же с $p \leq 4,5$ МПа (45 кгс/см <sup>2</sup> )   | 800-1500   | 1000–3000  | 3000–6000  | 9–12                  | $< 20$           |

\* При внутрикотловой обработке воды.

Требования к качеству насыщенного пара вырабатываемого котлами низкого и среднего давления даны в табл. 1.18.

Таблица 1.18

**Требования к качеству насыщенного пара**

| Типы котлоагрегатов  | Возможные пределы напряжения парового пространства, м <sup>3</sup> / (м <sup>3</sup> ·ч) | Допустимое содержание в паре |                   |                          | Примечания   |
|--|--|------------------------------|-------------------|--------------------------|--|
|  |  | влаги, %                     | всех солей, мг/кг | двуокиси углерода, мг/кг |  |
| Чугунные секционные паровые  | 2000–4000  | Не регламентированы          |                   |                          | Если вырабатываемый пар соприкасается с пищевыми продуктами и используется в теплообменниках с медными, латунными трубками или в открытой системе теплоснабжения, то содержание в паре аммиака недопустимо |
| Жаротрубные и дымогарные вертикальные и горизонтальные                   | 100–1000   | 1,0                          | 1,0               | –                        |  |
| Водотрубные экранированные с $p \leq 1,4$ МПа (14 кгс/ м <sup>2</sup> )  | 450–900  | 0,3                          | 0,5               | 20                       |  |
| Водотрубные экранированные с $p \leq 4,5$ МПа (45 кгс/ см <sup>2</sup> ) | 350–500  | 0,2                          | 0,2               | 20                       |  |

*Вопросы для самопроверки*

1. Состав природных вод.
2. В чем отличие поверхностных вод от артезианских?
3. Что такое общая жесткость исходной воды?
4. Что такое общая щелочность исходной воды?
5. Что такое накипь и ее образование?
6. Требования к качеству сетевой воды.
7. Требования к качеству питательной воды паровых водотрубных котлов с давлением пара до 4,0 МПа.

## 2. Методы и способы обработки воды

### 2.1. Этапы обработки воды

Водно-химический режим работы котельной должен обеспечивать работу котлов, пароводяного тракта, теплоиспользующего оборудования и тепловых сетей без коррозионных повреждений и отложений накипи и шлама на внутренних поверхностях, получение пара и воды требуемого качества.

В теплоэнергетике различают следующие этапы обработки воды:

1. Предварительный;
2. Докотловой;
3. Внутрикотловой

Методы обработки воды в зависимости от используемых в них принципов действия подразделяются на четыре группы:

1. Химические (табл. 2.1);
2. Физические (табл. 2.2);
3. Физико-химические;
4. Биологические.

Таблица 2.1

#### Химические (Реагентные) способы обработки воды

|                    | Введение растворов хим. реагентов   | Ионного обмена  |
|--------------------|---|---|
| Способ реализации  | Дозирование в воду хим. реагентов<br>Комплексон-6, Аминат, Hydro-X,<br>(вводятся насосами дозаторами)   | Na-I/II, H-Na, Na-Cl, NH <sub>4</sub> OH-Na ионирование<br>(в ионитовых фильтрах)   |
| Результат          | Обескислороживание, предотвращение накипеобразования, регулирование щелочности, уровня pH, коагулирования и т.п.  | Умягчение, снижение щелочности, содержания CO <sub>2</sub> , солесодержания   |
| Сущность процессов | Образуют растворимые комплексные соединения с кальцием, магнием, железом, медью и другими накипеобразователями<br>основано на их избирательной адсорбции на активных центрах образующихся кристаллов накипи, что препятствует как росту самих кристаллов, так и тормозит зарождение центров кристаллизации, меняет форму кристаллов | <i>Для Na-катионирования:</i> Кальциевые или магниевые соли, содержащиеся в воде, вступают в обменные реакции с катионитом, замещая в нем натрий и тем самым умягчает воду. |

Таблица 2.2

**Физические (безреагентные) способы обработки воды**

|                           | <b>Электромагнитные</b>  | <b>Акустические</b>   | <b>Электрохимические</b>   | <b>Магнитные</b>   |
|---------------------------|--|---|--|--|
| <b>Способ реализации</b>  | Установка Anti Ca <sup>++</sup> (катушка, образованная 11 витками провода на трубе)  | Установка Water King  | Электролизеры с магниевыми анодами   | Установка УМОВ   |
| <b>Результат</b>          | Предотвращает накипеобразование (эффект сохраняется 2-5 дней)  | Предотвращает накипеобразование (эффект сохраняется 5-6 дней)   | Предотвращает накипеобразование, снижает конц. O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , повышает (рН) и щелочность | Предотвращает накипеобразование (эффект сохраняется 1 день)                                  |
| <b>Сущность процессов</b> | Под воздействием электромагнитных полей происходит высвобождение ионов бикарбоната кальция из электростатической связи с молекулами воды и последующее образование арагонитовых кристаллов (которые не обладают свойствами образования твердых отложений), с последующим удалением в фильтрах. | Постоянно меняющиеся волны, приводят к изменениям кристаллической структуры солей, образующих накипь. Изменения достигаются дестабилизацией ионов кальция (Ca <sup>++</sup> ) и карбонат ионов (CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), которые объединяются при нагревании, образуя хрупкую арагонитную кристаллическую структуру, которая придает кристаллу хрупкость, неустойчивость, заставляя его терять свойство наслаиваться |  | Стимулирование кристаллизации растворенных в воде солей, с последующим удалением в фильтрах. |

Метод обработки воды, состав и расчетные параметры сооружений водоподготовки следует выбирать на основании сравнения технико-экономических показателей вариантов в зависимости от требований к качеству пара, питательной и котловой воды паровых и водогрейных котлов, качеству воды для систем теплоснабжения и горячего водоснабжения, количества и качества возвращаемого конденсата, количества и качества отводимых сточных вод, а также от качества исходной воды. Выбор метода обработки воды, подбор оборудования должна проводить специализированная организация.

## 2.2. Предварительная очистка воды от механических примесей

Исходная вода из артезианских скважин или поверхностных источников (рек, озер) перед умягчением, снижением щелочности и дегазации должна пройти очистку от механических загрязнений (твердых частиц) и коллоидных примесей. Процесс удаления грубодис-

персных и коллоидных примесей называют осветлением; его осуществляют путем фильтрования и отстаивания воды.

При использовании воды из поверхностных источников надлежит предусматривать:

- фильтрование на осветлительных фильтрах для удаления взвешенных веществ при их количестве до 100 мг/л.
- коагуляцию в осветлителях и последующим фильтрованием на осветлительных фильтрах для удаления взвешенных веществ при их количестве более 100 мг/л, для удаления органических включений.
- известкование с коагуляцией в осветлителях и последующим фильтрованием на осветлительных фильтрах для уменьшения щелочности, солесодержания, содержания соединений железа, органических включений, удаления взвешенных веществ при их количестве более 100 мг/л.
- содоизвесткование с коагуляцией в осветлителях и последующим фильтрованием на осветлительных фильтрах, указанную обработку допускается предусматривать для вод с величиной общей жесткости, превышающей величину общей щелочности;
- едконатровое умягчение с коагуляцией и последующим фильтрованием на осветлительных фильтрах.

*Осветление* – удаление из воды грубодисперсных и коллоидных примесей.

Удаление грубодисперсных примесей осуществляется методом осаждения или фильтрованием.

В случае использования метода осаждения удаление примесей осуществляется за счет работы силы тяжести. Грубодисперсные частицы, имеющие плотность большую плотности воды, под действием силы тяжести осаждаются в условиях относительного покоя воды в течение длительного времени. Это накладывает определенные ограничения на размеры помещения водоподготовки, так как требует больших объемов резервуаров.

*Фильтрование* – процесс пропускания воды через пористую среду осветлительно-го(механического) фильтра. Грубодисперсные примеси задерживаются на поверхности и в порах среды.

Протекание воды в слое фильтрующей среды может происходить за счет силы тяжести (в безнапорных фильтрах) или под действием разности давлений, создаваемой внешними насосами (в напорных фильтрах).

С целью повышения скорости и качества фильтрования фильтр заполняют послойно материалами, имеющими различную насыпную плотность и фракционный состав (мрамор, антрацит, кварцевый песок размерами от 0,5 до 20 мм). Оптимальная скорость фильтрации воды составляет 5-12 м/ч.

Грубодисперсные примеси удаляются с помощью механических фильтров, заполненных кварцевым песком (или антрацитом) различных фракций (см. рис. 2.1). Фильтр гуммирован изнутри полуэбонитом 1751  $\delta = 1,5$  мм в два слоя и полуэбонитом 1752  $\delta = 1,5$  мм, общая толщина покрытия 6 мм. Фильтр не подлежит регистрации и контролю инспекцией Ростехнадзора.

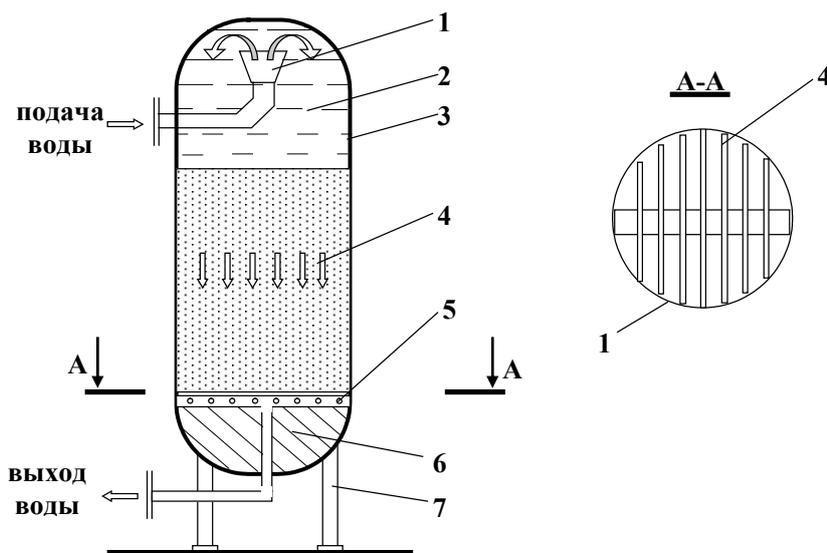


Рис. 2.1. Схема напорного осветительного фильтра.

1 – водораспределительное устройство, 2 – водяная подушка, 3 – корпус, 4 – слой зернистого материала (кварцевый песок с антрацитом), 5 – нижнее распределительное устройство, 6 – бетонная подушка, 7 – опора.

Таблица 2.4

#### Операции цикла работы осветительного фильтра

| № | Наименование операции   | Продолжительность, мин | Скорость, м/ч |
|---|---|------------------------|---------------|
| 1 | Фильтрация  | менее 480 мин (8 ч)    | 5-12          |
| 2 | Спуск воды из фильтра   | 10-12                  | 5-7           |
| 3 | Промывка обратным потоком воды ( $i=7-15$ л/м <sup>2</sup> ч)                                 | 6-10                   | 5-7           |
|   | дополнительно после промывки может выполняться продувка сжатым воздухом давлением 1,5-2,0 ата | 3-5                    | -             |
| 4 | Спуск в дренаж загрязненного фильтрата (для удаления первых мутных порций воды)               | 10-15                  | 3-4           |

Таким образом, общая продолжительность промывки фильтра (регенерации) составляет 40-50 мин, что составляет около 8 % от продолжительности одного цикла.

Высота слоя фильтрующего материала в осветительном фильтре – 0,9 м; высота слоя катионита – 1,5 м; сопротивление осветительного фильтра потоку воды при высоте слоя песка (антрацита) 0,9 м и скорости фильтрации 5–6 м/ч, – 0,3–0,5 10<sup>5</sup>Па (кг/см<sup>2</sup>); сопротивление катионитного фильтра потоку вода при высоте слоя катионита 1,5 м и скорости фильтрации 5–10 м/ч – 0,4–0,6 10<sup>5</sup>Па (кг/см<sup>2</sup>); давление рабочее, не более – 4 10<sup>5</sup> Па (кг/см<sup>2</sup>); масса комплекта установки – 760 кг.



Коагуляция осуществляется путем добавления реагентов-коагулянтов, включающих в свой состав положительно заряженные частицы. После введения коагулянтов коллоидные частицы слипаются, образуя хлопья и легко задерживаются в фильтрующем слое осветительных фильтров.

Наиболее распространенным коагулянтом является:

- при pH=5-7 сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ;
- при pH=8-10 сульфат железа  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ;
- при pH=8-10 хлорное железо  $FeCl_3$ .

Их доза определяется опытами и составляет десятки мг/кг.

Вода перед коагуляцией для ускорения процесса нагревается до 25–30 °С, или в нее добавляется полиакриламид в малых дозах – 0,5–2,0 мг/кг. Коагулянты вызывают коррозию, поэтому оборудование требует защитных покрытий

### 2.3. Докотловая обработка воды

Для приготовления питательной воды паровых котлов, подпитки водогрейных котлов и тепловых сетей рекомендуются следующие схемы докотловой обработки воды:

1. *натрий-катионирование* – при водоснабжении котельной от хозяйственно-питьевого водопровода и допустимости этой схемы по величине продувки котлов, относительной щелочности, концентрации углекислоты в паре.

Указанный метод допускается применять при карбонатной жесткости менее 3,5 мг-экв/л и подразделяется:

- одноступенчатое — для уменьшения общей жесткости до 0,1 мг-экв/л,
- двухступенчатое — ниже 0,1 мг-экв/л.

Натрий-катионирование с дозировкой нитратов в обработанную воду при относительной щелочности обработанной воды от 20 до 40 % для предупреждения межкристаллитной коррозии металла котлов;

После натрий-катионирования могут применяться коррекционные методы обработки воды:

*нитратирование* — для предупреждения межкристаллитной коррозии металла котлов;

*амминирование*—для уменьшения содержания в паре свободной углекислоты и уменьшения коррозии пароконденсатного тракта;

*фосфатирование* или трилонирование—для защиты от накипных отложений поверхностей нагрева котлов с давлением пара более 14 кгс/см<sup>2</sup> ;

*сульфитирование*— для удаления нитритов из питательной воды котлов с давлением пара 40 кгс/см<sup>2</sup>;

2. *водород-натрий-катионирование* – параллельное или последовательное с нормальной или “голодной” регенерацией водород-катионитовых фильтров – для уменьшения жесткости, щелочности и солесодержания питательной и подпиточной воды, а также количества углекислоты в паре;
3. *натрий-хлор-ионирование* – для уменьшения общей жесткости, в том числе карбонатной, и содержания углекислоты в паре. Указанный метод допускается применять при отношении величины бикарбонатной щелочности к сумме величин сульфатов, нитратов и нитритов  $\geq 1$ , содержании анионов сильных кислот (кроме хлор-иона) –  $\leq 2$  мг-экв/кг и отсутствии органических веществ и железа;
4. *аммоний-натрий-катионирование* – для уменьшения жесткости, щелочности, солесодержания питательной воды и содержания углекислоты в паре. Указанный метод может применяться, если в паре допустимо наличие аммиака.

При натрий-катионировании содержание железа в обрабатываемой воде не должно превышать 0,3 мг/кг, при водород-натрий-катионировании – 0,5 мг/кг. При натрий-хлорировании и частичном обессоливании ионированием железо должно отсутствовать (перед анионитными фильтрами).

Для обезжелезивания артезианских вод рекомендуются следующие 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);

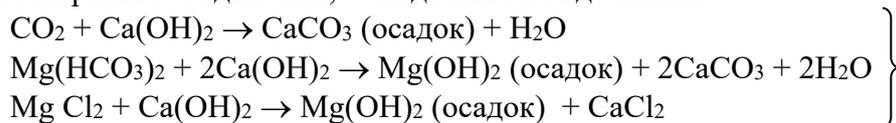
Для обезжелезивания поверхностных вод рекомендуются: коагуляция, известкование, хлорирование.

#### 2.4. Внутрикотловая химическая обработка воды

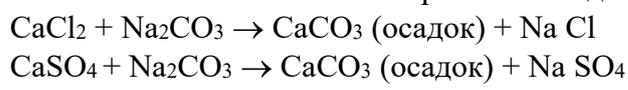
Внутрикотловую обработку (дозирование едкого натра, соды и др.) необходимо предусматривать для частичного умягчения воды, удаления связанной углекислоты, уменьшения содосодержания, при этом должно обеспечиваться непрерывное удаление шлама.

Способ внутрикотловой обработки воды основан на вводе в водяной объем парового или водогрейного котла веществ, которые с солями жесткости образуют малорастворимые соединения – шлам, непрерывно уделяемый из водяного объема.

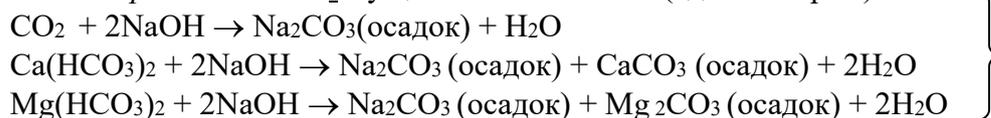
*Известкование* (Ca(OH)<sub>2</sub>) основано на связывании ионов подлежащих удалению, в малорастворимые соединения, осаждаемые в виде шлама.



*Известково-содовый метод* применяется для вод, в которых Жо > Щ исх.в.



*Едконатриевый метод* осуществляется NaOH (едким натром)



Магнитную обработку следует применять при использовании воды хозяйственно-питьевого водопровода или воды из поверхностных источников, прошедшей предварительную обработку, при этом должно предусматриваться непрерывное выведение шлама из котлов.

Принципиальная схема установки внутрикотловой обработки воды показана на рис. 2.4. В питательный бак 4 из дополнительного бачка 5 подается раствор реагентов, обычно соды, едкого натра или фосфатов. Образующийся шлам удаляется через автоматический шламоотделитель 2 (устройство шламоотделителя Ш-2 показано на рис. 2.4). Удаление шлама осуществляется из нижних точек котла, где возможно его скопление. Часть прореагировавших солей жесткости оседает в питательном баке для чего необходимо отводить шлам в дренаж из бака.

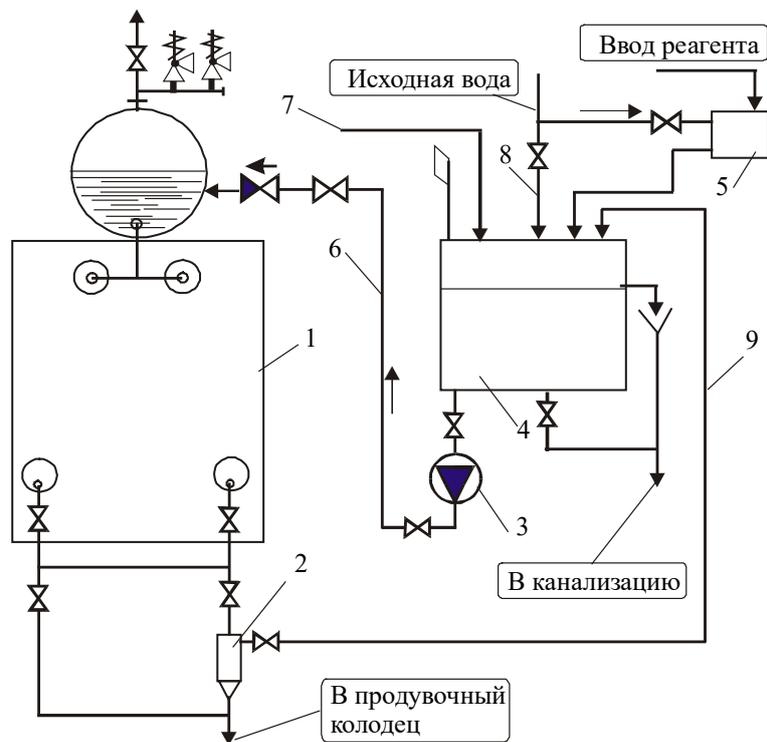


Рис. 2.4. Схема организации внутрикотловой обработки воды и отвода шлама: 1 – паровой котел; 2 – автоматический шламоотделитель Ш-2; 3 – питательный насос; 4 – питательный бак; 5 – бачек с раствором реагента; 6 – питательная вода в котел; 7 – возврат конденсата и подача исходной воды; 8 – исходная вода; 9 – осветленная вода после Ш-2  
 На рис. 2.5 показано устройство шламоотделителя типа Ш-2.

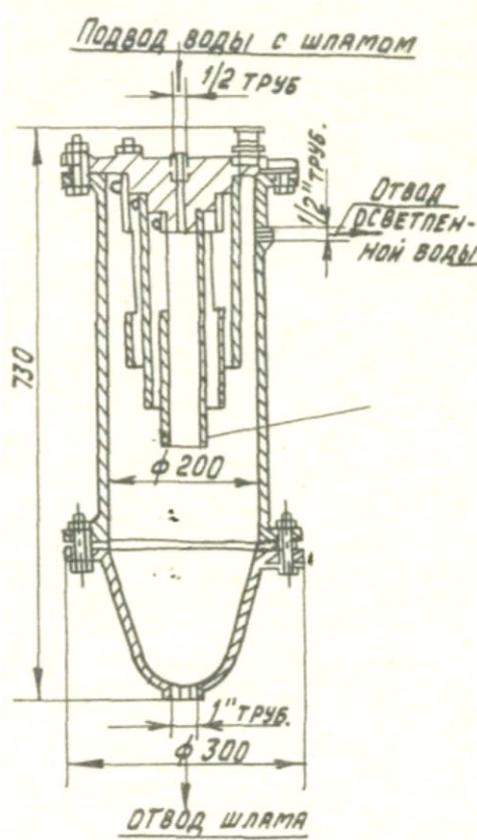


Рис. 2.5. Шламоотделитель автоматический типа Ш-2 конструкции ВТИ

В шламоотделителе улавливается от 78 до 98 % шлама, выпавшего из котловой воды. Ш-2 способен задерживать частицы размером более 50 мкм, масса аппарата – 70 кг. Количество воды проходящей через шламоотделитель не должно превышать 6,0 % водяного объема котла.

## 2.5. Внутрикотловые безреагентные методы обработки воды

Магнитную обработку следует применять при использовании воды хозяйственно-питьевого водопровода или воды из поверхностных источников, прошедшей предварительную обработку, при этом должно предусматриваться непрерывное выведение шлама из котлов

*Магнитная обработка воды* успешно применяется в отопительных котельных. Существует две схемы подключения противонакипных магнитных устройств (ПМУ). Первая схема предназначена для паровых котлов с температурой среды более 100 °С (см. рис. 2.6).

В этом случае соли выделяются в толще воды в виде шлама, который необходимо постоянно удалять из нижних слоев во избежание образования вторичной накипи. Схема обязательно предусматривает установку автоматического шламоотделителя Ш-2 (конструкции ВТИ) (см. рис. 2.7). В шламоотделителе улавливается 78–99 % выпадаемого шлама. Метод предъявляет ограничения к качеству исходной воды (карбонатная жесткость не более 8 мг-экв/кг, содержание железа до 0,3 мг/кг, кислорода до 3 мг/кг), что значительно снижает его возможности.

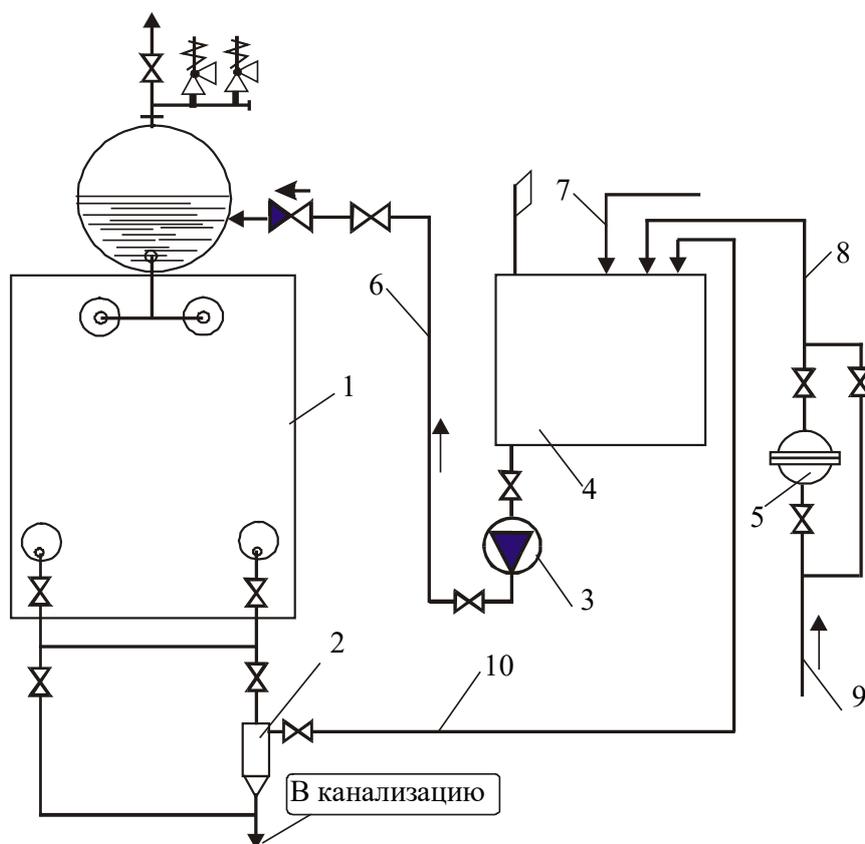


Рис. 2.6. Принципиальная схема омагничесвания воды для паровых котлов: 1 – паровой котел; 2 – автоматический шламоотделитель Ш-2; 3 – питательный насос; 4 – питательный бак; 5 – противонакипное магнитное устройство (ПМУ-2); 6 – питательная вода в котел; 7 – возврат конденсата; 8 – омагниченная вода в питательный бак; 9 – подпитка из хозяйственно-питьевого водопровода; 10 – осветленная вода после Ш-2.

Завод им. Войкова (Москва) выпускает ПМУ-1 и ПМУ-2 с естественными магнитами и автоматические шламоотделители Ш-2 (см. рис. 2.7).

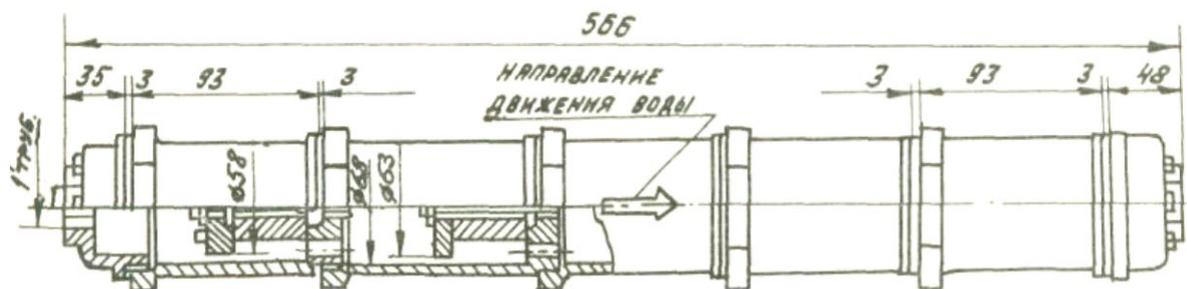


Рис. 2.7. Противонакипное магнитное устройство с естественными магнитами типа ПМУ-1 производительностью до 3,0 м<sup>3</sup>/ч

Вторая схема предусматривается для водогрейных котлов с температурой подогрева среды до 95 °С (см. рис. 2.8). Было обнаружено, что при подогреве воды до точки кипения (до 95 °С) она остается прозрачной – карбонатного шлама нет, несмотря на то, что произошло разложение карбонатной жесткости с образованием карбоната кальция. Это явление объясняется мелкодисперсностью образовавшихся частиц (менее 0,5 мкм), которые постоянно находятся во взвешенном состоянии.

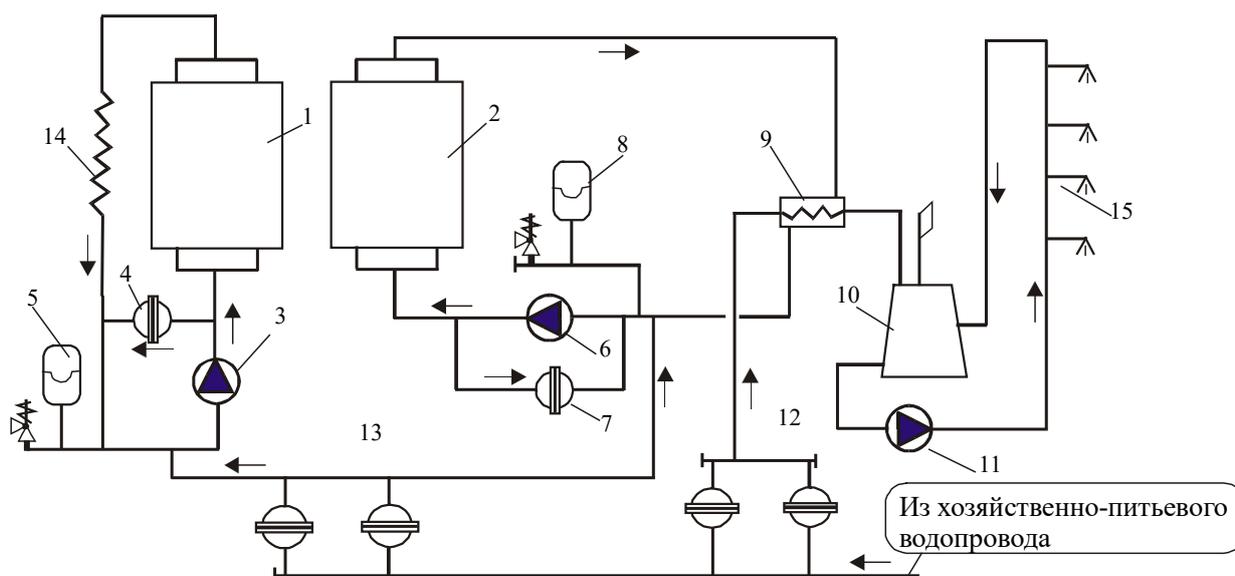


Рис. 2.8. Принципиальная схема омагничивания воды для водогрейных котлов с температурой подогрева воды до 95 °С:

1 – водогрейный котел для системы отопления и вентиляции; 2 – водогрейный котел для системы ГВС; 3 – циркуляционный насос системы отопления; 4 – ПМУ антирелаксационного контура системы отопления и вентиляции; 5 – мембранный расширительный сосуд системы отопления и вентиляции; 6 – циркуляционный насос первичного контура; 7 – антирелаксационное ПМУ первичного контура котла; 8 – мембранный расширительный сосуд первичного котура; 9 – теплообменник ГВС; 10 – бак-аккумулятор ГВС; 11 – подающий насос ГВС; 12 – ПМУ подпитки ГВС; 13 – ПМУ подпитки системы отопления и первичного контура; 14 – система отопления; 15 – система ГВС.

Однако омагниченные свойства воды сохраняются в течение 8–10 ч. Для постоянного поддержания омагниченных свойств воды предусматривается антирелаксационный контур с

установкой ПМУ-2 (или АМО-25-У4), через который постоянно должно проходить не менее 12–15 % объема воды в системе.

Ограничения по качеству исходной воды те же, что и в предыдущей схеме. Большими достоинствами указанного способа обработки воды являются простота, быстрая окупаемость и главное под воздействием омагниченной воды разрыхляется и отслаивается ранее образовавшаяся накипь. В омагниченной воде снижается скорость коррозии металла.

На производительность 15; 25 и 50 м<sup>3</sup>/ч отечественная промышленность производит электромагнитные аппараты СКБ ВТИ АМО-25-У4 (завода «Электрозапчасть» г. Чебоксары). Для пресных вод оптимальная напряженность магнитного поля рекомендуется  $(9,6-12) \cdot 10^4$  А/м (1200–1500 э) при скорости потока в рабочем зазоре аппарата 1–2 м/с (см. рис. 2.9).

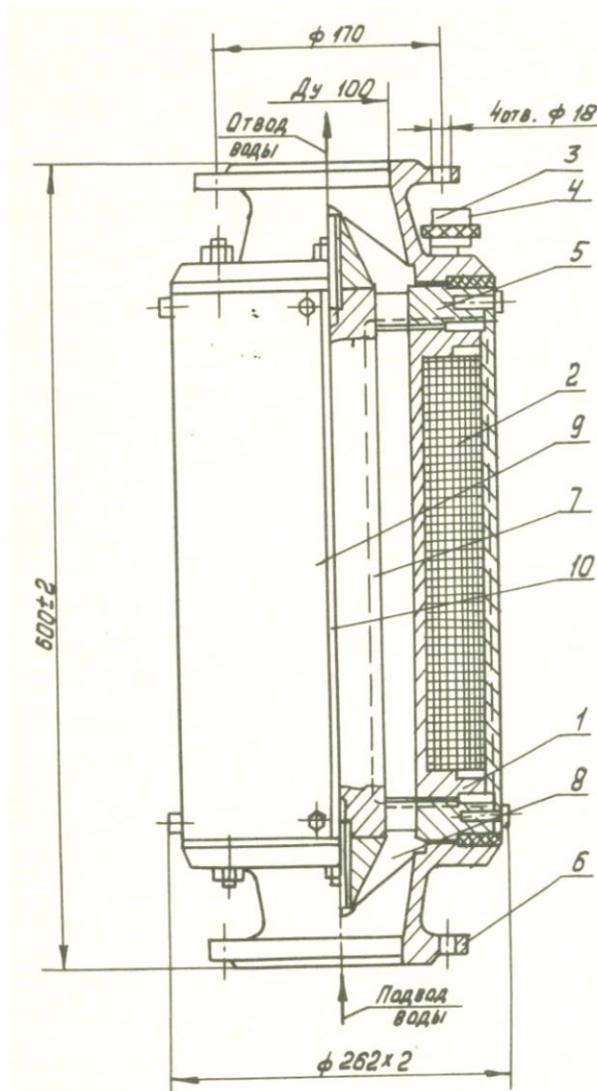


Рис. 2.9. Аппарат электромагнитный для противонакипной обработки воды типа АМО-25-У4, производительностью 25 м<sup>3</sup>/ч: 1 – каркас; 2 – обмотка; 3 – клеммная коробка; 4 – крышка; 5 – кольцевые полюсы; 6 – переходные муфты; 7 – сердечник; 8 – обтекатели; 9 – корпус; 10 – прокладка

Ультразвуковая обработка воды, как и магнитная, относится к безреагентным методам внутрикотловой обработки. Воздействия на котловую воду ультразвуковыми колебани-

ями частотой 20–30 кГц создают явление кавитации (при схлопывании микропузырьков развиваются гидравлические микроудары). В результате этих воздействий происходит очистка от ранее образовавшейся накипи и предотвращается образование новой. Максимальная толщина накипи достигает не более 0,1 мм. Кроме того, шлам становится мелкодисперсным и не забивает спускные и продувочные трубки.

На усталостные явления в стальных поверхностях нагрева и в стыках ультразвук данной частоты отрицательного влияния не оказывает. Более того, под его воздействием происходит пассивирование поверхностного слоя металла, что снижает скорость коррозии.

Ультразвуковыми импульсными установками типа "ИЛ-1 МХ" были оснащены два чугунных секционных котла типа "Универсал-5" на одной из котельных Красногвардейского филиала ТЭК СПб, которые проработали в непрерывном режиме 14 месяцев. При осмотре котлов, внутренняя поверхность секций практически не содержала отложений, а внутренняя поверхность металлических заглушек стала иметь блеск чистого металла. Проба отложений, отобранная через лючки, имела рыхлый вид, легко удаляемых потоком воды.

Таким образом, ультразвуковые импульсные установки значительно снижают интенсивность процесса образования и накопление отложений на внутренней поверхности котлов и могут использоваться на чугунных котлах.

Электромагнитный импульсатор ВНИ-97 был установлен на дренажном патрубке нижнего барабана парового котла типа ДКВР-10-13 на котельной Красносельского филиала и проработал три недели. Внутренний осмотр котла и вырезка образца экранной трубы до установки прибора и после его снятия показали, что толщина накипи в барабанах снизилась с 1,0 мм до 0,2–0,3 мм, а удельная загрязненность экранных труб с 400 г/м<sup>2</sup> до 72 г/м<sup>2</sup>. Результаты показывают на эффективность применения метода магнитно-импульсной очистки при железо-оксидных отложениях.

Аппараты состоят из генератора звуковых колебаний и двух-четырёх преобразователей. Режим работы генератора круглосуточный, потребляемая мощность 70 Вт, частота преобразователей 22 кГц, масса генератора не более 5 кг, преобразователя 3 кг. Срок окупаемости 2–3 месяца.

Для повышения надежности и долговечности работы отопительных котлов и систем теплоснабжения водоподготовку необходимо применять в комплексе с дегазацией воды в термических деаэраторах атмосферного или вакуумного типов.

## 2.6. Обработка воды комплексонами

В настоящее время широко распространяется относительно новый (был предложен еще 30 лет назад) способ борьбы с отложениями для открытых и закрытых систем теплоснабжения с помощью комплексонов, содержащих фосфоновые группировки – PO(OH)<sub>2</sub>, и комплексонатов, производных от комплексонов.

Применение комплексонов для расслоения и отмывки отложений основано на их способности в определенных концентрациях вступать во взаимодействие с ионами металлов (Ca, Mg, Fe и др.) в широком диапазоне pH и образовывать устойчивые водорастворимые комплексы.

Фосфорсодержащие комплексы в концентрациях значительно меньших, чем стехиометрические, предотвращают образование накипи в перенасыщенных растворах малорастворимых солей CaCO<sub>3</sub>. Это свойство комплексонов послужило основой для использования их в качестве ингибиторов солеотложения.

Ингибирующее действие комплексонов ОЭДФ, НТФ, Zn ОЭДФ, K<sub>2</sub>Zn ОЭДФ, Na<sub>2</sub>ZnОЭДФ основано на их избирательной адсорбции на активных центрах образующихся кристаллов накипи, что препятствует как росту самих кристаллов, так и тормозит зарождение центров кристаллизации, меняет форму кристаллов. В перенасыщенных карбонатами кальция растворах комплексоны образуют прочный комплекс с ионами Ca<sup>2+</sup>. Этот комплекс сорбируется поверхностью ранее образовавшихся кристаллов и образующихся зародышей

кристаллов карбоната кальция и препятствует их направленному росту и агломерации.

Отсутствие центров кристаллизации, за счет блокирования их на поверхности кристаллов, обеспечивает поддержание раствора в перенасыщенном состоянии без выделения накипи. Этот эффект способствует размыванию ранее образовавшихся отложений. Эффективность применения комплексонов зависит от их концентрации и химического состава воды. При обработке комплексонами воды с содержанием железа более 0,3 мг/л целесообразно предварительно провести ее обезжелезивание, так как часть комплексонов расходуется на связывание ионов железа.

До начала применения комплексонов системы с отложениями целесообразно отмыть, предпочтительно в несколько этапов, при больших концентрациях комплексонов.

При эксплуатации сетей с накопившимися отложениями поддерживается концентрация комплексонов, соответствующая равновесному состоянию, когда старые отложения не отмываются, а новые не образуются.

Нарушение этого равновесия в сторону интенсивной отмывки сетей приводит к тому, что все накопившиеся шламы попадают в воду и начинают скапливаться в зонах с низкой скоростью движения воды в системе. Особенно это опасно для котлов.

В системах, использующих комплексоны необходимо применять самые интенсивные методы шламоудаления, правильно размещая шламоотделители и обеспечивая низкую скорость движения воды при их включении по схеме байпаса, пропуская через них небольшой процент воды системы. В процессе эксплуатации в конечном счете вся вода должна пройти через шламоотделитель.

Расход комплексонов рассчитывают исходя из объема отмываемого контура и количества отложений. На завершение очистки указывает стабильность во времени концентраций ионов железа, комплексона и значения рН.

Концентрированные растворы ОЭДФ, НТФ обладают коррозионно-агрессивными свойствами, поэтому установки для приготовления и дозирования этих растворов должны выполняться из нержавеющей стали.

*Оксиэтилидендифосфоновая кислота  $C_2H_8O_7P_2$  (ОЭДФ)* негорючий, невзрывоопасный, летучий, гигроскопичный белый порошок с характерным запахом уксуса. ОЭДФ не способствует образованию эмульсий и вспениванию растворов. Разрешено к применению в практике хозяйственного водоснабжения Госкомитетом Санэпиднадзора РФ согласно перечню № 01-19/32-11 от 23.10.92г. П-263. Остаточное содержание не более 0,6 мг/л.

*Нитрилотриметилфосфоновая кислота  $C_3H_{12}NO_9P_3$  (НТФ)*. Кристаллическое вещество белого цвета, не содержит кристаллизационной воды, хорошо растворяется в воде, 1 кг НТФ может быть растворен в 1 л воды, хорошо растворяется в кислотах и щелочах, плохо – в органических растворителях. НТФ не способствует образованию эмульсий и вспениванию растворов.

*Гидроксиэтилидендифосфонатоцинкдикалиевая соль ( $K_2Zn$  ОЭДФ)*. Кристаллическое вещество белого цвета, хорошо растворяется в воде. Является эффективным ингибитором солеотложений, а также ингибитором коррозии. Согласно ТУ 6-00-05713605-15-91, выпускается в виде 25 % водного раствора желто-зеленого цвета, молекулярная масса 313,3, плотность 1,2–1,3 г/см<sup>3</sup>, рН продукта 8–10, массовая доля цинка 4,8–5,3 %, температура разложения до 210 °С.

Разрешено к применению в практике хозяйственного водоснабжения Госкомитетом Санэпиднадзора РФ согласно перечню № 01-19/32-11 от 23.10.92г. Остаточное содержание не должно превышать 5 мг/л.

*Гидроксиэтилидендифосфонатоцинкдинатриевая соль ( $Na_2Zn$  ОЭДФ)* – свойства и требования аналогичны  $K_2Zn$  (ОЭДФ).

Комплексоны  $Zn$  ОЭДФ,  $K_2Zn$  ОЭДФ,  $Na_2Zn$  ОЭДФ не коррозионно-агрессивны, при обработке ими подпиточной воды минерализация воды практически не увеличивается и не усиливаются ее коррозионно-агрессивные свойства. При концентрации ОЭДФ до 5 мг/л коррозионно-агрессивные свойства воды по отношению к цветным металлам и сплавам, не-

ржавеющей и углеродистой стали практически не меняются.

Обработка комплексонами воды не предотвращает образование биологических и наносных отложений. Поэтому используемая из поверхностных источников вода должна пройти предварительную механическую очистку.

Перечисленные выше вещества умеренно-токсичны с умеренно-выраженной способностью к кумуляции. Относятся к 3 классу умеренно-опасных веществ (ГОСТ 12.1.007-76). Слабо раздражают кожу и слизистую оболочку глаз. Пролиты цинкового комплексона Zn ОЭДФ смываются водопроводной водой. При попадании на кожу или в глаза необходимо промыть пораженное место водой, а затем соответствующим раствором бикарбоната натрия (2 % раствор для нейтрализации раствора на поверхности кожи и 0,5 % – для промывки глаз). Эти рекомендации необходимо иметь в виду при приготовлении концентрированных рабочих растворов в дозирующее устройство.

Кроме перечисленных выше отечественных комплексонов получают распространение зарубежные аналоги *HydroChem 110*, *HydroChem 160* (170), с автоматическими системами дозирования типа «*Hydro-X*», *Exados®*.

Ниже приведена табл. 2.5, рекомендуемых концентраций комплексонов ОЭДФ в сетевой и подпиточной воде, по данным ИРЭА для различных значений индекса насыщения исходной воды.

Таблица 2.5

**Рекомендуемые концентрации комплексонов ОЭДФ в сетевой и подпиточной воде, по данным ИРЭА для различных значений индекса насыщения исходной воды.**

| Показатели исходной воды                  |                                     | Щелочность исходной воды, мг-экв/кг   |     |     |     |     |     |      |
|---|-------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Индекс насыщенности карбонатом кальция, I | Водородный показатель (величина) pH | 3–4   | 4–5 | 5–6 | 6–7 | 7–8 | 8–9 | 9–10 |
|   |                                     | C <sub>ОЭДФ</sub> – концентрация комплексона ОЭДФ в подпиточной и сетевой воде, мг/л. |     |     |     |     |     |      |
| -2  | <5                                  | 0,5   | 0,8 | 1   | 2   | 2   | 4   | 4    |
| -1  | 5-6                                 | 0,5   | 0,8 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5    |
| 0   | 6–7                                 | 0,5   | 0,8 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5    |
| 1   | 7–8                                 | 1   | 2   | 2   | 3   | 4   | 5   | 5    |
| 2   | 8–9                                 | 2   | 3   | 3   | –   | 5   | 5   | 5    |
| 3   | 9–10                                | 3   | 4   | 4   | –   | 5   | –   | –    |
| 4   | 10–11                               | 4   | 5   | 5   | 5   | –   | –   | –    |
| 5   | 11–12                               | 5   | 5   | 5   | –   | –   | –   | –    |

*Примечание:* прочерк в некоторых столбцах означает, что данных нет.

*Рекомендации по выбору комплексона для обработки воды:*

- при щелочности воды более 6 мг-экв/л, индекс насыщения  $I < 2$  и концентрации сульфатов выше 500 мг/л рекомендуется применять НТФ;
- при щелочности воды более 6 мг-экв/л, индекс насыщения  $I > 2$  и концентрации сульфатов выше 500 мг/л рекомендуется применять цинковые комплексы ОЭДФ (комплексонаты);
- при индексе насыщения  $I > 1$  рекомендуется применять цинковые комплексы ОЭДФ;
- при любых значениях щелочности воды и индекса насыщения и при суммарной концентрации хлоридов и сульфатов в воде более 150 мг/л рекомендуется применять цинковые комплексы ОЭДФ;
- при индексе насыщения ниже 0 и концентрации сульфатов более 700 мг/л рекомендуется применять НТФ.

Расчет индекса насыщения воды карбонатом кальция  $I = \text{pH} - \text{pH}_5$  приведен в кни-

ге Н.Н. Лапоташкиной и Р.П.Сазонова «Водоподготовка и водно-химический режим тепловых электростанций», Москва, Энергоиздат, 1982г. и в СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и водоснабжение».

Пересчет концентраций ОЭДФ на концентрации других комплексонов и комплексонатов проводится по следующим формулам:

$$C_{\text{НТФ}}=1,5 C_{\text{ОЭДФ}}, \quad C_{\text{К2 Zn ОЭДФ}}= 1,7 C_{\text{ОЭДФ}}, \quad C_{\text{Na 2 ОЭДФ}}= 1,5 C_{\text{ОЭДФ}},$$

где:

- $C_{\text{ОЭДФ}}$ - концентрация оксиэтилендифосфоновой кислоты (ОЭДФ) мг/л;
- $C_{\text{НТФ}}$ - концентрация нитрилотриметиленфосфоновой кислоты, мг/л;
- $C_{\text{К2 Zn ОЭДФ}}$  - концентрация дикалиевой соли цинкового комплекса ОЭДФ, мг/л;
- $C_{\text{Na 2 ОЭДФ}}$  - концентрация натриевой соли цинкового комплекса ОЭДФ, мг/л.

В настоящее время отечественные и зарубежные фирмы выпускают автоматические установки по обработки воды комплексонами, которые работают в автоматическом режиме. В комплект установки обычно входят: блок управления; насос-дозатор; расходомер; узел впрыска; емкость для раствора комплексона; запорная и регулирующая арматура и трубопроводы. Все устройства монтируются в компактном малогабаритном корпусе.

Схема работы комплексонатной водоподготовки типа «Комплексон-6» осуществляется по принципиальной схеме, приведенной на рис. 2.10. Ввод реагента осуществляется насосом-дозатором 1 периодически по сигналу с блока управления 2. Величина вводимой дозы пропорциональна количеству подпиточной воды, измеренному расходомером 5 на магистрали подпитки 6.

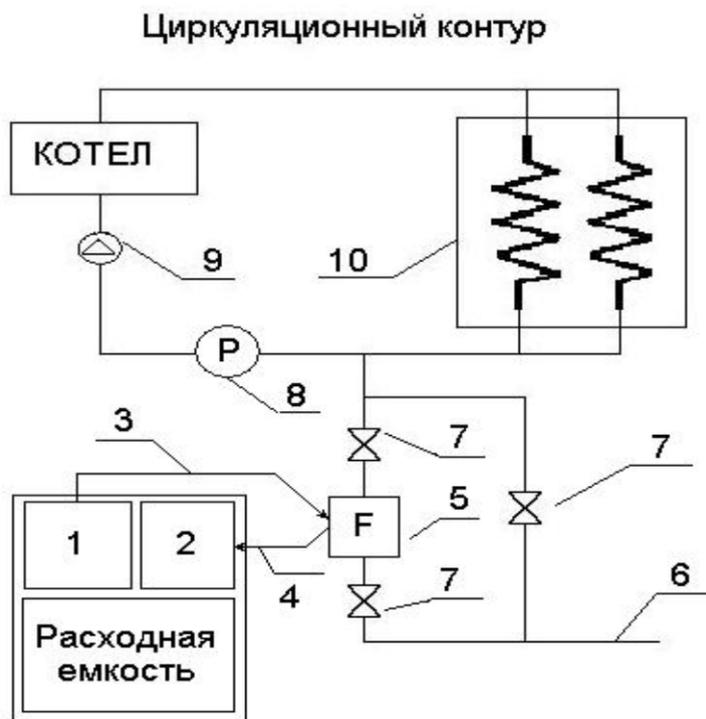


Рис. 2.10. Принципиальная схема организации обработки воды комплексонами: 1 – насос дозатор; 2 – блок управления; 3 – линия впрыска реагента; 4 – линия сигналов от расходомера; 5 – расходомер и узел впрыска; 6 – магистраль подпитки; 7 – запорная арматура; 8 – датчик давления; 9 - циркуляционный насос; 10 – потребитель

Автоматизированные установки реагентной водоподготовки СДР-5 выпускаются различных модификаций и показана на рис. 2.11. Подбор автоматизированных установок реагентной водоподготовки СДР-5 производится индивидуально для каждого объекта, исходя из необходимой производительности по обрабатываемой воде (часового объема подпитки с учетом величины и продолжительности пикового расхода), химического состава обрабатываемой воды и комплектации установки (наличие дублирующих блоков, дополнительных устройств - перемешивающего устройства, урвнемера и т.д.).



Рис. 2.11. Внешний вид автоматической установки ввода комплексонов «Комплексон-6» типа АСДР

Производительность установок по обрабатываемой воде колеблется в широких пределах - от 10 л/ч до 400 м<sup>3</sup>/час и выше. Все установки сертифицированы.

#### **Санитарно-гигиенические характеристики комплексонов**

Санитарно-гигиенические характеристики оксиэтилидифосфоновой кислоты ОЭДФ, тринатриевой Na<sub>3</sub>ОЭДФ, монокалиевой КОЭДФ ее кислот, нитрилотриметилфосфоновой кислоты НТФ по данным Института реактивов и особо чистых веществ (ИРЭА), г.Москва, приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6

## Санитарно-гигиенические характеристики комплексонов

|                      | ПДК в воде водоемов санитарно-бытового назначения   | ПДК в воде рыбохозяйственных водоемов  | ОБУВ в воздухе рабочей зоны   | ОБУВ в атмосферном воздухе  |
|----------------------|---|--|---|---|
| Соединение           | Перечень №2932-83 ПДК и ОБУВ в воде веществ в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового пользования МЗ СССР | Дополнительный перечень № 30-11-Т1 Главрыбвода к приложению №3 «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами». | Список №6 вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Перечень №2155-80 МЗ СССР от 18.03.80г. | Список 21-91-80 от 01.08.80г. Дополнение к списку 14-30-76 от 03.07.76г. ОБУВ загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. |
| ОЭДФ                 | 0,6 мг/л  | 0,9 мг/л   | 2,0 мг/м <sup>3</sup>   | 0,04 мг/м <sup>3</sup>  |
| Na <sub>3</sub> ОЭДФ | 0,3 мг/л  |  | 5,0 мг/м <sup>3</sup>   | 0,2 мг/м <sup>3</sup>   |
| КОЭДФ                | 0.3 мг/л  |  | 2,0 мг/м <sup>3</sup>   |   |
| Zn ОЭДФ              | 5,0 мг/л ( для горячей воды)  |  |   |   |
| НТФ                  | 1,0 мг/л  | 0,1 мг/л   | 2,0 мг/м <sup>3</sup>   | 0,03 мг/м <sup>3</sup>  |

Перечисленные вещества умеренно-токсичны с умеренно- выраженной способностью к кумуляции. Относятся к 3 классу умеренно-опасных веществ (ГОСТ 12.1.007-76). Слабо раздражают кожу и слизистую оболочку глаз. Проливы цинкового комплексона ZnОЭДФ смываются водопроводной водой. При попадании на кожу или в глаза необходимо промыть пораженное место водой, а затем соответствующим раствором бикарбоната натрия ( 2% раствор для нейтрализации раствора на поверхности кожи и 0,5% - для промывки глаз). Эти рекомендации необходимо иметь в виду при приготовлении концентрированных рабочих растворов в дозирующее устройство.

### 2.7. Метод умягчения воды путем ионного обмена

Метод ионного обмена как способ умягчения питательной воды имеет самое широкое применение в котельных установках. Метод основан на способности некоторых материалов вступать в ионный обмен с растворенными в воде солями. Сорбируются на поверхности материала одни ионы и отдаются другие в эквивалентном количестве.

Молекулы некоторых веществ, находящихся в водном растворе, распадаются на положительно и отрицательно заряженные ионы – катионы и анионы. Ионный обмен предусматривает замену в процессе фильтрации накипеобразующих катионов кальция и магния на катионы, соли которых обладают хорошей растворимостью или образуют летучие соединения.

Умягчение жесткой воды в катионитовый установках производится фильтрованием ее через слой катионита — естественного натриевого минерала. Материалы, используемые при ионном обмене, называют – *катиониты* и *аниониты*.

Кальциевые или магниевые соли, содержащиеся в воде, вступают в обменные реакции с указанным минералом, замещая в нем натрий, образуя хорошо-растворимые соли или летучие соединения и тем самым, умягчая воду.

Обмен положительными ионами (катионами) осуществляется через *катиониты* (глауконит, сульфоуголь и синтетические смолы). При регенерации NaCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> или NH<sub>4</sub>Cl происходит обмен катионов Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, H<sup>+</sup> на катионы, находящиеся в обрабатываемой воде. Глауконит — минерал. Наибольшее распространение имеет глауконит. Сульфированный уголь — продукт обработки серной кислотой каменных или бурых углей. Кроме естественных минералов используют также искусственные катиониты, получаемые сплавлением соды, кварца и каолина и называемые пермутитом.

*Аниониты* (синтетические смолы типа АН-31, АН-18, АВ-17-8) – при регенерации их щелочью NaOH, NaCl и т.п. способны как бы заряжаться соответственно анионами OH<sup>-</sup> или Cl<sup>-</sup>, а затем обменивать на анионы, содержащиеся в обрабатываемой воде.

*Водоумягчение методом катионирования.* Наиболее распространенным катионитом является сульфоуголь, который получают после обработки бурого или каменного угля концентрированной серной кислотой.

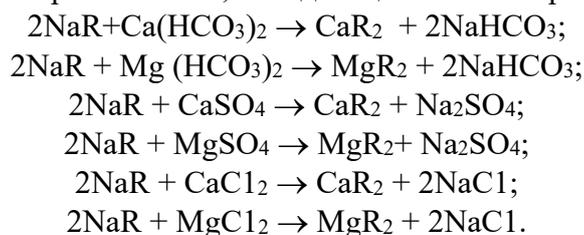
Средняя характеристика сульфоугля: диаметр зерна – 0,3–1,2 мм; насыпная масса – 0,55 г/л<sup>3</sup>; емкость поглощения – 300 мг-экв/кг; верхний предел температурной стойкости – 70 °С; годовой износ – 10–15 %.

Емкость поглощения катионитового материала – это предел его обменной способности, после чего его необходимо восстанавливать регенерацией. Сульфоуголь может насыщаться обменными катионами натрия, водорода или аммония. В зависимости от выбранных катионитовых фильтров. Различают: Na-катионирование, H-катионирование и NH<sub>4</sub>-катионирование (аммоний-катионирование).

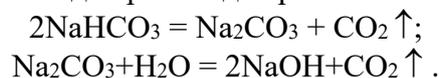
Формула катионитового материала, не участвующего в ионном обмене, условно обозначается буквой R.

### Na-катионирование

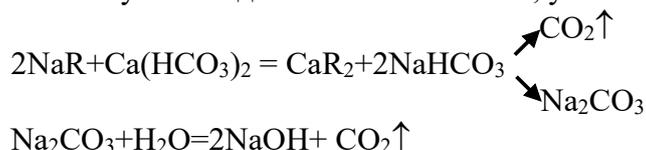
*Натрий-катионирование* применяют для умягчения воды путем фильтрования ее через слой катионита в натриевой форме. При этом способе растворенные в воде соли кальция и магния при фильтрации через катионитовый материал обменивают Ca<sup>+</sup> и Mg<sup>+</sup> на Na<sup>-</sup>. В итоге получаются только натриевые соли, обладающие большой растворимостью



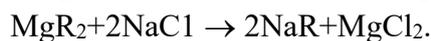
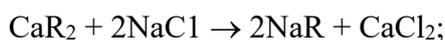
В дальнейшем в котловой воде происходит разложение бикарбоната натрия:



Таким образом в результате кальциевые или магниевые соли, содержащиеся в воде, вступают в обменные реакции с указанным минералом, замещая в нем натрий, образуя хорошо-растворимые соли или летучие соединения и тем самым, умягчая воду:



Регенерация производится 5–7 % раствором поваренной технической соли (NaCl). В результате регенерации действие сульфоугля (катионита) восстанавливается. Реакции идут по уравнениям:



Концентрированные водные растворы хлоридов кальция, магния, а также избытка соляного раствора выбрасываются. Характерная особенность Na-катионирования – отсутствие солей, выпадающих в осадок.

Поэтому, несмотря на то что умягчение воды получается глубоким и жесткость воды доводят до 0,015–0,02 мг-экв/кг, щелочность умягченной воды остается равной карбонатной жесткости исходной воды.

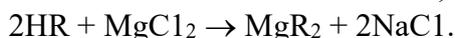
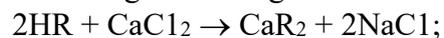
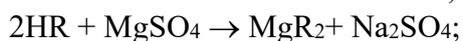
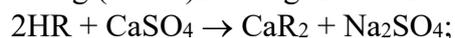
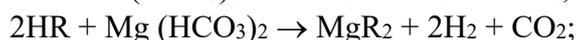
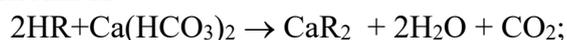
Сухой остаток при Na-катионировании несколько повышается, но практически его можно считать постоянным.

Получающийся при разложении бикарбоната натрия едкий натр дает вспенивание воды и может вызвать коррозию металла котла, а уголекислота, остающаяся в конденсате – коррозию конденсатопроводов. Если относительная щелочность получается больше 20 %, можно нейтрализовать избыточную щелочность присадкой в воду сульфата аммония  $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$  или нитрата натрия –  $\text{NaNO}_3$ . Сульфат аммония под влиянием высокой температуры в котле разлагается, аммиак уходит с паром, а серная кислота нейтрализует щелочь:



### **H-катионирование**

При насыщении сульфогля катионами водорода катионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  исходной воды будут обмениваться на катионы  $\text{H}^+$



Регенерацию фильтров производят 1–1,5 %-ным раствором серной кислоты.

В результате H-катионирования карбонатная жесткость полностью разрушается, но вода получается кислой, так как хлористые и сернокислые соли превращаются в соляную и серную кислоты. Кислотность воды оказывается равной некарбонатной жесткости.

Такую воду можно использовать только в качестве подпиточной воды для водогрейных котельных, и то при «голодной» регенерации. При «голодной» регенерации в фильтры подают количество кислоты, недостаточное для полной регенерации. В исходной воде, проходящей через такие фильтры, карбонатная жесткость разрушается, а сильные кислоты не образуются. Общее умягчение получается неглубоким, но щелочность доводится до величины 0,6–0,8 мг-экв/кг. Следует учитывать, что при «голодной» регенерации фильтры подвергаются щелочной коррозии и это – отрицательная сторона такого процесса.

Вода для паровых котлов после H-катионирования оказывается агрессивной, поэтому для них применяют совместное Na- и H-катионирование. В последнем случае происходит нейтрализация кислоты и щелочи, и получаемая вода имеет требуемую величину остаточной щелочности.

Последовательное Na–H–катионирование используют при наличии в исходной воде сульфатов и хлоридов более 7 мг-экв/кг и при соотношении –  $\text{Ж}_{\text{нк}}/\text{Ж}_{\text{к}} \geq 0,5$ , когда щелочность умягченной воды доводится до 0,5–0,8 мг-экв/кг.

### **Na–Cl-ионирование**

*Натрий-хлорионирование* с использованием анионитовых синтетических смол, частично отработанных на химически обессоливающих установках (СК-1, СК-2, СМ-1, СМ-2, емкость поглощения 230–360 г-экв/м<sup>3</sup>).

*Хлор-ионирование* может осуществляться: на специальных хлор-ионитных фильтрах, когда необходимо удалить большое количество бикарбонатов, т.е. требуется большой объем

анионита. На смешанном натрий-хлор-ионитном фильтре, когда процесс хлор-ионирования совмещается со второй ступенью натрий-катионирования, т.е. в фильтр загружают катионит и анионит имеются ограничения по количеству удаляемых бикарбонатов. Указанный метод допускается применять при отношении величины бикарбонатной щелочности к сумме величин сульфатов, нитратов и нитритов  $\geq 1$ , содержании анионов сильных кислот (кроме хлор-иона) —  $\leq 2$  мг-экв/л и отсутствии органических веществ и железа.

В смешанном фильтре высоту загрузки анионита принимают по расчету, а остальную высоту фильтрующего слоя заполняют катионитом (но не менее, чем на 0,5 м).

### **Na–NH<sub>4</sub>-ионирование**

*Аммоний-натрий-катионирование* в зависимости от качества исходной воды может осуществляться в схемах параллельного или совместного аммоний-натрий-катионирования.

Схема параллельного аммоний-натрий-катионирования применяется, как правило, при количестве ионов натрия в воде более 30–35 % от общей жесткости и при степени обмена на аммоний ( $A^{NH_4}$ ) больше 90 и меньше 40 %.

Схема совместного аммоний-натрий-катионирования применяется, как правило, при содержании катионов натрия в воде менее 30 % от общей жесткости и при степени обмена на аммоний ( $A^{NH_4}$ ) в пределах от 40 до 90 %.

При насыщении сульфогля катионами аммония катионы  $Ca^+$  и  $Mg^+$  исходной воды будут обмениваться на катионы  $NH_4^+$  по реакциям, аналогичным для Na-катионирования, в которые вместо Na следует ставить  $NH_4$  (см. формулы 2.5–2.9). Под действием высокой температуры соль  $Na_4HCO_3$  разлагается:



Аммиак и уголекислота уходят с паром. Регенерация  $NH_4^+$  анионита осуществляется 2–3 %-ным раствором сульфата аммония  $(NH_4)_2SO_4$ , 6–8 %-ным раствором хлорида аммония  $(NH_4Cl)$ .

Однако аммоний-катионирования дает кислую воду, при аммоний-натрий-катионирования соли аммония реагируют со щелочью котловой воды, выделяя аммиак  $NH_3$ , который уходит с паром. При конденсации пара аммиак растворяется в конденсате, подщелачивает его и нейтрализует свободную уголекислоту.

Существенный недостаток совместного Na–NH<sub>4</sub>-катионирования заключается в том, что в пар котлов попадает значительное количество аммиака, а это не всегда допустимо. Аммиак вызывает коррозию оборудования, изготовленного из латуни и других медных сплавов, поэтому Na–NH<sub>4</sub>-катионирование нельзя использовать теплообменников с латунными трубками.

Приблизительно можно принять, что при этом способе умягчения щелочность и сухой остаток умягченной воды получаются такими же, как и при параллельном Na–H-катионировании. По величине сухого остатка определяют процент продувочной воды.

## **2.8. Технологии противоточного ионирования**

Водоподготовительные установки с параллельноточными фильтрами в настоящее время из-за ряда недостатков считаются устаревшими. В первую очередь это относится к повышенному расходу реагента, воды, повышенная минерализация сбросных стоков.

Одним из направлений снижения удельных расходов реагентов, сокращения металлоемкости оборудования и объемов сброса солевых сточных вод является применение технологии противоточного ионирования.

Эффект улучшения качества фильтрата и снижения расхода реагентов при «противотоке» достигается за счет того, что в первую очередь свежим раствором регенерируются наименее загрязненные выходные слои сульфогля (смолы). Кроме того, по мере продвижения регенерационного раствора в более истощенные слои создается равновесие между концентрацией десорбируемых ионов в растворе и слое, что исключает нежелательные повтор-

ные процессы сорбции-десорбции, характерные для «параллельноточного» фильтрования.

Использование «противотока» в одну ступень позволяет получить минимальную остаточную концентрацию катионов и анионов. Причем нарастание последней идет плавно по мере истощения материала загрузки.

Использование «противотока» в одну ступень позволяет получить минимальную остаточную концентрацию катионов и анионов. Причем нарастание последней идет плавно по мере истощения материала загрузки.

Для реализации преимуществ противоточного ионирования необходимо обеспечить неподвижность слоя ионита во время рабочего цикла и регенерации, одновременно позволяя ему расширяться в период взрыхления. Нарушение распределения слоев смолы служит причиной серьезного ухудшения качества фильтрата и нивелирования эффекта противоточной технологии.

В настоящее время на практике применяется ряд систем противоточного ионирования, предусматривающих подачу обрабатываемой воды как сверху вниз, так и в противоположном направлении.

Одной из первых запатентованных противоточных технологий была технология «Швебебет» фирмы Bayer (Германия). Здесь обрабатываемая вода в фильтре направляется снизу вверх, регенерационный раствор - сверху вниз. Фильтр практически полностью заполняется смолой, чтобы предотвратить ее слишком большое разжижение. Часть свободного объема фильтра заполняется инертным материалом, предотвращающим засорение колпачков верхней дренажной системы мелкими частицами смолы, часть – остается свободной.

Данная технология отличается компактностью и эффективностью, но ей присущи и *недостатки*. Так, необходимо постоянное прижатие слоя к верхней дренажной системе, т. е. поддержание постоянного потока воды, поступающего на фильтр. В противном случае наблюдается ухудшение качества обработанной воды. Кроме того, необходимы регулярные взрыхляющие промывки. Если предварительно не взрыхлить и не отмыть слой ионита, мелкие гранулы и загрязнения, скапливающиеся в верхней части слоя, могут быть унесены во время рабочего цикла в следующий фильтр или потребителю. Взрыхление вынужденно проводится в специальной емкости.

Разработанная компанией Rohm and Haas (США) система «Амберпак» (Amber-pack) по направлению движения потоков аналогична описанной выше, но предусматривает загрузку всего объема фильтра смолой. Размеры и загрузка фильтра таковы, что смола заполняет его полностью, поэтому отпадает необходимость осуществлять давление снизу вверх или загружать в фильтр инертный уплотняющий материал.

Фильтры «Амберпак» могут иметь многокамерную конструкцию для загрузки слабых и сильных смол в одну колонну без риска их смешивания, оставаясь при этом очень простым в эксплуатации. Камеры отделены друг от друга промежуточными колпачковыми платами, разработанными таким образом, чтобы обеспечить необходимое распределение жидкостей как в рабочей фазе, так и в ходе регенерации, хотя скорости потоков этих процессов обычно значительно отличаются. Концепция «Амберпак» предоставляет большие возможности в комбинировании смол.

Основной недостаток данной системы – высокая чувствительность к содержанию взвешенных веществ в исходной воде.

В фильтре по технологии АПКОРЕ, обрабатываемая вода движется сверху вниз, регенерационный раствор – снизу вверх (рис. 2.12). Так как во время рабочего цикла вода движется сверху вниз, то слой ионита остается зажатым при любых колебаниях нагрузки, даже при полном прекращении подачи воды. Таким образом, хорошо регенерированный слой ионита в нижней части фильтра не разрушается.

Противоточные технологии обеспечивают следующие преимущества, по сравнению с параллельноточной схемой:

- уменьшение количества эксплуатируемых фильтров в 1,5-2,5 раза (скорость фильтрования воды до 40-50 м/ч);

- снижение расхода реагентов;
- увеличение рабочей обменной емкости фильтра за счет свойств ионитов и возможности почти полностью заполнять фильтр ионитом;
- уменьшение расхода воды на собственные нужды и, следовательно, количества сточных вод;
- нормативное качество обработанной воды, получаемое при одноступенчатом фильтровании.

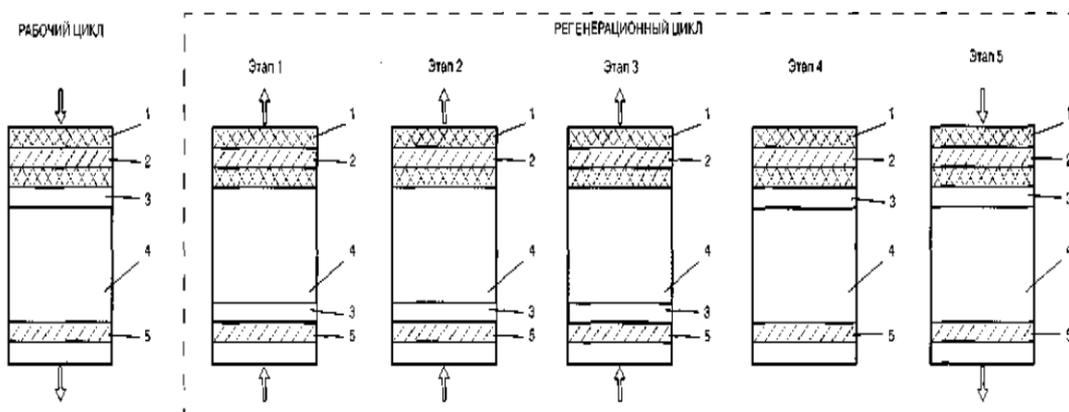


Рис. 2.12. Работа ионообменного фильтра по технологии АПКОРЕ: 1 – слой инертного материала; 2 – верхняя дренажно-распределительная система; 3 – свободное пространство; 4 – ионит (один или два слоя); 5 – нижняя дренажно-распределительная система. Этапы цикла регенерации: 1 – ввод обессоленной (умягченной) воды в фильтр снизу вверх; 2 – ввод регенерационного раствора реагентов в фильтр снизу вверх; 3 – ввод обессоленной (умягченной) воды в фильтр для предварительной отмывки ионита снизу вверх; 4 – оседание ионита; 5 – ввод осветленной или умягченной воды в фильтр для окончательной отмывки ионита сверху вниз

## 2.9. Очистка конденсата от масел

Очистка конденсата от масел осуществляется с помощью баков-отстойников заполненных коксом или антрацитом с размерами частиц 1–2 мм слоем 1,2–1,5 м. После фильтрации в конденсате остается 2–3 мг/кг масла. Более глубокая очистка осуществляется при организации двухступенчатой обработки воды.

## 2.10. Удаление железа

Удаление железа проводят коагуляцией, известкованием и хлорированием. В артезианских водах железо содержится в виде  $F(\text{HCO}_3)_2$  и очищается путем аэрации и фильтрования через кварцевый песок с пленкой из окислов железа.

В целях экономии химических реагентов, которыми обрабатывается исходная вода перед их дозированием ее обезжелезивают.

Обезжелезиванию подвергают как исходную воду, так и конденсат, возвращаемый с производства. При этом, прежде всего, перед обезжелезиванием необходимо устранить причины появления железа в воде (коррозия металлических конструкций оборудования).

Обезжелезивание выполняют путем фильтрования ее фильтрах с зернистой загрузкой, покрытой окислами железа или соединениями марганца. Кроме того, обезжелезиванию подвергают окислы железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  содержаться в воде в виде частичек размером (0,1-1,5 мкм). Поэтому эти частички могут быть отфильтрованы в осветительных фильтрах заполненных сульфоуглем. Регенерация осуществляется 3-4 раза в год.

Кроме того, обезжелезивание производят в электромагнитных фильтрах. В этом слу-

чае воду пропускают через слой материала, обладающего ферромагнитными свойствами. Как правило, электромагнитный фильтр состоит из корпуса, в котором укладывается слой шаров, изготовленных из ферромагнитной стали. Вокруг фильтра расположен соленоид, находящийся под напряжением и создающий в области шаров электромагнитное поле. В результате чего в пространстве между шарами возникают высокие напряженности магнитного поля, необходимого для задерживания окислов железа.

Описание: Установка состоит из корпуса, автоматического блока управления работой фильтра, фильтрующей среды, поддерживающего слоя гравия, дренажно-распределительной системы, бачка для приготовления регенерационного раствора.

Фильтрующий материал: - природный минерал глауконит, покрытый пленкой двуокиси марганца.

Принцип действия: Напорные фильтры с зернистой фильтрующей средой, служащей катализатором реакции окисления, при которой растворенное в воде железо и/или марганец переходят в нерастворимую форму и выпадают в осадок. Осадок задерживается в слое фильтрующей загрузки и в дальнейшем вымывается в дренаж при обратной промывке. В процессе окисления железа и марганца также происходит эффективное удаление растворенного сероводорода.

## 2.11. Основные показатели для выбора схемы 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

$$П = (S_{0в} \cdot n_k \cdot 100) / (S_{кв} - S_{0в} \cdot n_k), \quad (2.1)$$

где  $П$  – величина продувки котлов по сухому остатку, %;  $n_k$  – суммарные потери пара и конденсата в долях от паропроизводительности котельной;  $S_{0в}$  – сухой остаток обработанной воды, кг/кг;  $S_{кв}$  – сухой остаток котловой воды для принятого в проекте типа котла, который принимается по паспортным или эксплуатационным данным, мг/кг.

Расчетная величина продувки котлов не должна превышать для котлов с давлением до 1,4 МПа – 8 %, до 2,0 МПа – 7 % их паропроизводительности. Определение величины продувки ведется для режима максимальных потерь пара и конденсата, выраженных в процентах от паропроизводительности котельной. Для снижения величины продувки котлов рекомендуются улучшение сепарационных устройств, ступенчатое испарение, усложнение схемы водоподготовки, обеспечивающее снижение соледержания, и т.п.

*Относительная щелочность* котловой воды равна относительной щелочности обработанной воды (разбавление конденсатом и концентрирование солей в воде не изменяет величину относительной щелочности) и определяется по формуле (1.3).

Щелочность обработанной воды следует принимать для натрий-катионитовых установок равной щелочности исходной воды, для систем с предварительным известкованием 1 мг-экв/кг, для водород-натрий-катионитовых и аммоний-натрий-катионитовых (условно) 0,5–0,7 мг-экв/кг, для водород-катионитовых 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 или термическом перенапряжении котельного металла и наличии 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 работающих на давлении более 0,8 МПа, не должна превышать 20 %. При

величине относительной щелочности более 40 % для сварных котлов следует предусматривать схемы обработки, снижающие щелочность исходной воды. Величина относительной щелочности для сварных котлов, работающих на давлении менее 1,0 МПа, 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; аммонирование питательной воды из расчета 0,4 мг аммиака на 1 мг/кг свободной углекислоты (аммонирование применяется, если потребители пара допускают наличие в нем аммиака); применение схем обработки воды, позволяющих снизить содержание связанной углекислоты в исходной воде.

Концентрацию углекислоты в паре, мг/кг, определяют при отсутствии деаэрации питательной воды или использовании деаэраторов типа ДА (без барботажа) по формуле

$$\text{CO}_2 = 22 \text{Щ}_{\text{о в}} \cdot \alpha_{\text{о в}} (1 + \sigma), \quad (2.2)$$

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  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в котле при соответствующем давлении (для котлов типа ДКВР, ДЕ, КЕ и т.п. – 0,59 при  $p = 0,9$  МПа, 0,67 – при  $p = 1,4$  МПа);  $\alpha_{\text{к}} = \alpha_{\text{о в}}$  – доля обработанной воды в составе питательной.

Концентрацию углекислоты в паре, мг/кг, при деаэрации с барботажем определяют по формуле

$$\text{CO}_2 = 22 \text{Щ}_{\text{о в}} \cdot \alpha_{\text{о в}} (\sigma_1 + \sigma), \quad (2.3)$$

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

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 предварительную коагуляцию и осветление обрабатываемой воды.

*Выбор схемы при обработке воды ионным обменом.* Умягчение воды путем катионирования можно осуществлять по одноступенчатой (для водогрейных котлов, рис. 2.12) либо по двухступенчатой схеме (для паровых котлов с давлением пара свыше 0,07 МПа) – последовательное фильтрование через фильтр первой и затем второй ступени (рис. 2.13).

Схема одноступенчатого катионирования (рис. 2.13) 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-катионитовых фильтров первой ступени, если установка работает круглосуточно, принимают не менее двух. На второй ступени катионирования устанавливают обычно два фильтра специальной конструкции с высотой слоя катионита 1,5 м.

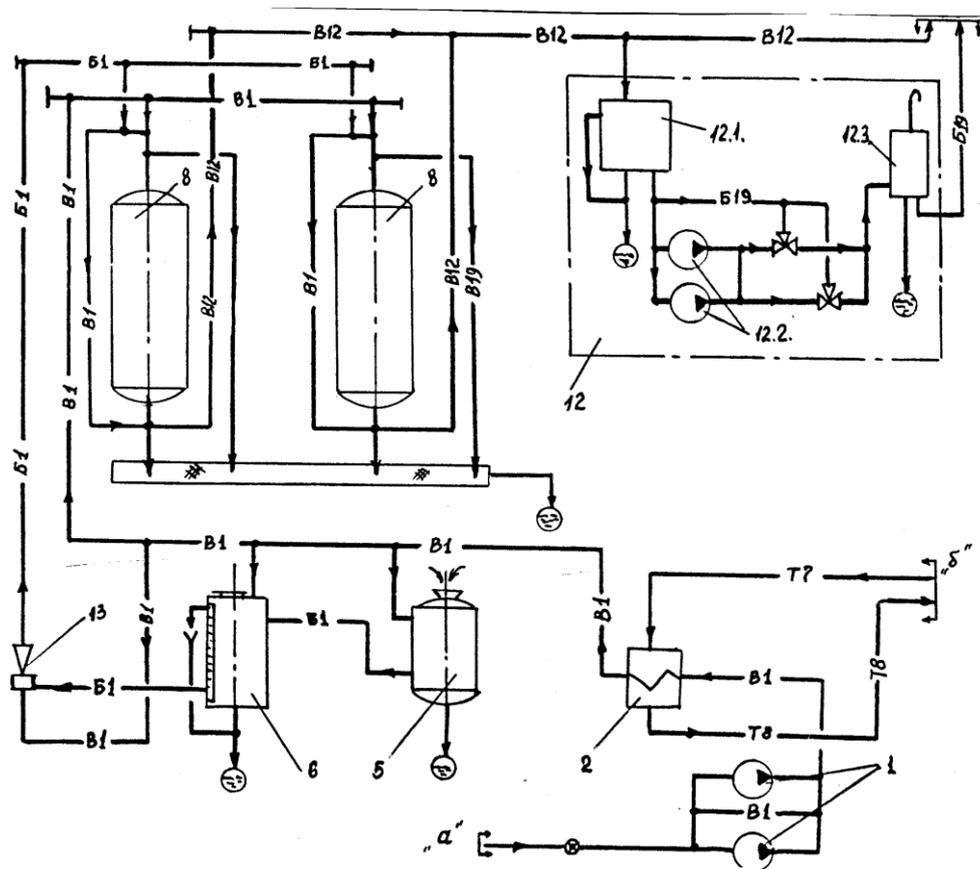


Рис. 2.13. Одноступенчатая схема Na-катионирования (с нитратированием):  
 В1 – хоз.-питьевой водопровод; В12 – вода после I ступени Na-катионирования; В19 – дренажи, сливы; В1 – регенерационный раствор NaCl; В19 – раствор нитрата натрия; Т7 – паропровод;  $p = 0,3$  МПа; Т8 – конденсатопровод; а – из хоз.-питьевого водопровода; б – из системы пароснабжения КУ; в – в деаэратор; 1 – насосы “сырой воды”; 2 – подогреватель “сырой воды”; 5 – солерастворитель; 6 – бак-мерник раствора соли; 8 – Na-катионитовый фильтр I ступени; 12 – установка нитратирования; 12.1 – бак-мешалка раствора; 12.2 – насосы-дозаторы НД-160/25; 12.3 – воздушный колпак; 13 – эжектор раствора соли

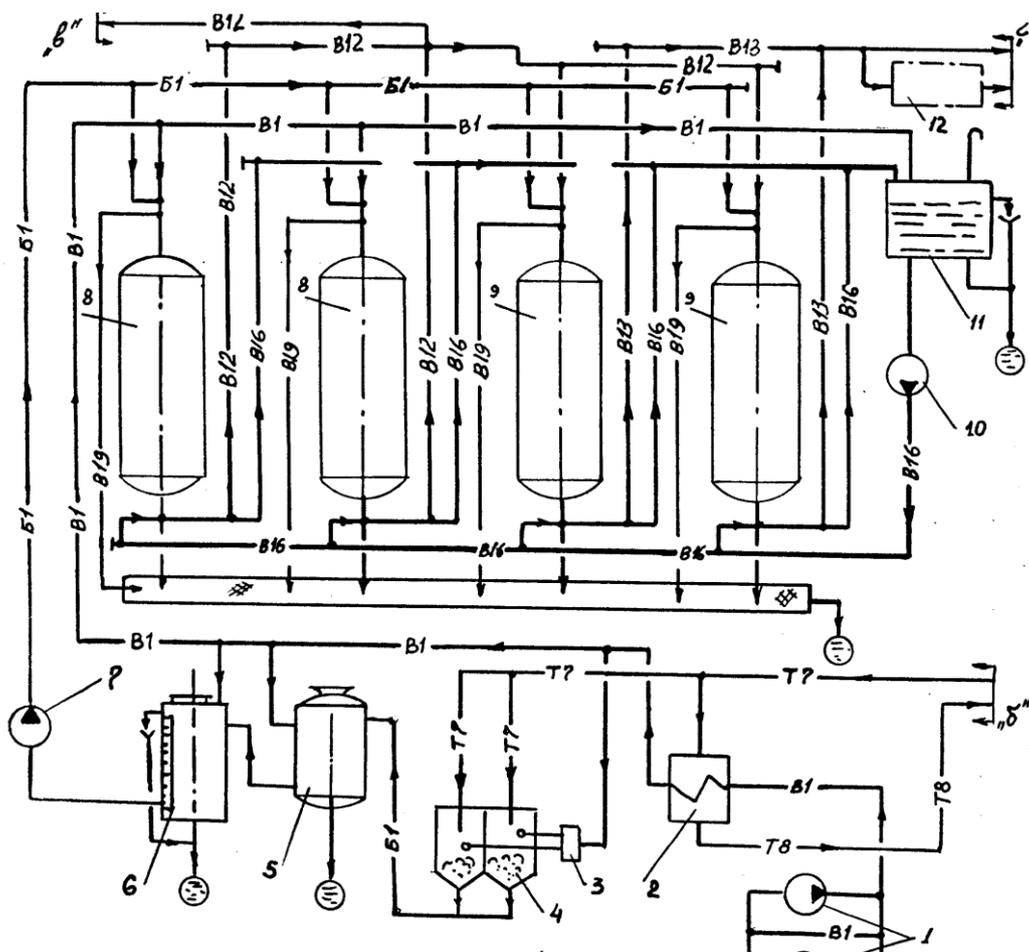


Рис. 2.14. Схема двухступенчатой обработки воды методом ионного обмена:  
 В1 – хоз.-питьевой водопровод ; В12 – вода после I ступени Na-катионирования; В13 – вода после II ступени Na-катионирования; В16 – взрыхление Na-катионитовых фильтров; В19 – дренажи, сливы; В1 — регенерационный раствор NaCl ; Т7 – паропровод; Т8 – конденсаторовод; а — из хоз.-питьевого водопровода; б – из системы пароснабжения КУ; в – на подпитку т/с и на ГВС; г – на питание паровых котлов;  
 1 – насосы “сырой воды”; 2 – подогреватель “сырой воды”; 3 – регулятор уровня; 4 - бункер мокрого хранения NaCl; 5 – фильтр соли (солерастворитель); бак-мерник раствора соли (NaCl); 7 – химический насос раствора NaCl; 8 – ионитовый фильтр I ступени; 9 – ионитовый фильтр II ступени; 10 – химический насос взрыхляющей промывки; 11 – бак для сбора отмывочной воды; 12 – блок нитратирования

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.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Материалы используемые для осветления воды.
2. Способы обезжелезивания воды.
3. Внутрикотловые методы снижения жесткости исходной воды.
4. Что такое комплексоны?
5. Как осуществляется обработка воды комплексонами?
6. Для чего служит автоматический шламоотделитель?
7. Безреагентные методы обработки воды.
8. В чем особенность магнитной обработки воды для водогрейных котельных и тепловых сетей?
9. Методы докотловой обработки воды.
10. Метод натрий- катионирования.
11. Режимы работы Na-катионитовых фильтров.
12. В чем особенность метода Na-Cl –ионирования?
13. Преимущества технологии противоточного ионирования.
14. Недостатки технологии противоточного ионирования.

### 3. Выбор оборудования

#### 3.1. Расчет потребления воды

Выбор оборудования для водообработки в котельных начинается с определения производительности водообработки.

В отопительных и отопительно-производственных котельных как правило поступает вода из хозяйственно-питьевого водопровода, а также из артезианских скважин или открытых водоемов, которая в котельно-топочной практике называется «сырой» водой. Вода расходуется на восполнение потерь конденсата, пара, сетевой воды и на собственные нужды котельной.

Потери воды при производстве пара происходят в пределах собственно котельной за счет расхода части пара на собственные нужды – на подогрев и распыливание мазута, на продувку котлов, обдувку и очистку его внешних поверхностей, на деаэрацию воды, и другие расходы.

Внешние потери и расходы воды связаны с: потерями конденсата и его загрязнением, а иногда и просто из-за принятого технологического процесса без возврата конденсата; расходами на горячее водоснабжение при открытой системе теплоснабжения.

Восполнение расходов и потерь воды котельной осуществляют комплексом оборудования, который называется водоподготовкой.

Расчет производительности системы водоподготовки  $G_{\text{хво}}$ , т/ч, для открытой системы теплоснабжения

$$G_{\text{хво}} = 1,2 (\sum D_{\text{пот}} + G_{\text{т.с}} + G_{\text{г.в}} + G_{\text{с.н}}), \quad (3.1)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий неучтенные расходы воды нужды водоподготовки;  $\sum D_{\text{пот}}$  – суммарные потери пара в котельной, т/ч;  $G_{\text{т.с}}$  – потери в тепловых сетях, т/ч;  $G_{\text{г.в}}$  – расход воды на ГВС, т/ч;  $G_{\text{с.н}}$  – расходы воды на собственные нужды водоподготовки, т/ч.

$$\sum D_{\text{пот}} = G_{\text{прод}} + G_{\text{конд}} + D_{\text{д}} + D_{\text{с.н}} + D_{\text{маз}} + G_{\text{пр}} \quad (3.2)$$

Потери с непрерывной продувкой паровых котлов:

$$G_{\text{прод}} = \sum D (\Pi_{\text{пр}}/100) \quad (3.3)$$

Потери конденсата на технологическом производстве, т/ч:

$$G_{\text{конд}} = (1 - \mu) D_{\text{пр}} \quad (3.4)$$

где  $\mu$  – доля конденсата возвращаемого с производства;  $D_{\text{пр}}$  – расход пара на технологические нужды;  $D_{\text{д}}$  – расход пара на термическую деаэрацию. Для ориентировочных расчетов можно принимать 0,2 % от  $\sum D$ ;  $D_{\text{с.н}}$  – расход пара на внутрикотельные потери и собственные нужды. Для приближенных расчетов можно принять до 2 % от  $\sum D$ , т/ч;  $D_{\text{маз}}$  – расход пара на мазутное хозяйство котельной, который определяется расчетом, т/ч. Для приближенных расчетов можно принять до 4 % от  $\sum D$ ;  $G_{\text{пр}}$  – прочие потери, т/ч. Для приближенных расчетов можно принять до 5 % от  $\sum D_{\text{пот}}$ .

$$G_{\text{пр}} = 0,05 (G_{\text{прод}} + G_{\text{конд}} + D_{\text{д}} + D_{\text{с.н}} + D_{\text{маз}}) \quad (3.5)$$

Расход воды на подпитку тепловых сетей, т/ч:

$$G_{\text{т.с}} = g_{\text{сист}} \cdot Q_{\text{о.в}} \cdot 0,005 = M_{\text{сист}} \cdot 0,005, \quad (3.6)$$

где  $g_{\text{сист}}$  – удельный объем системы, т/МВт; можно принять 42 т/МВт или по расчету в разделе отопление и вентиляция;  $Q_{\text{о.в}}$  – расход теплоты на отопление и вентиляцию, МВт

$$Q_{\text{о.в}} = D_{\text{о.в}} (i_{\text{н.п}} - i_{\text{п.в}}) / 3600, \quad (3.7)$$

где  $D_{\text{о.в}}$  – расход пара на отопление и вентиляцию, т/ч;  $i_{\text{н.п}}$ ,  $i_{\text{п.в}}$  – соответственно энтальпия насыщенного пара и питательной воды, кДж/кг.

$G_{\text{г.в}}$  – расход воды на горячее водоснабжение, т/ч:

$$G_{\text{г.в}} = D_{\text{г.в}} (i_{\text{н.п}} - i_{\text{п.в}}) / (t_{\text{г.в}} - t_{\text{с.в}}) \cdot c, \quad (3.8)$$

где  $t_{г.в}$  – температура воды на горячее водоснабжение (СНиП-П-36-73 “Тепловые сети”); принимается 60 °С;  $t_{с.в}$  – температура воды из хозяйственно-питьевого водопровода: зимой 5 °С; летом 15 °С (СНиП-П-34-76 “Горячее водоснабжение”);  $c$  – средняя массовая теплоёмкость воды ( $c = 4,19$  кДж/(кг·К) или 1 ккал/(кг·°С));  $D_{г.в}$  – расход пара на горячее водоснабжение.

Для закрытой системы теплоснабжения расход воды на горячее водоснабжение равен 0 ( $G_{г.в} = 0$ ).

Для закрытой системы теплоснабжения

$$G_{ХВО} = G_{ХВО}^{I ст} = G_{ХВО}^{II ст} \quad (3.9)$$

Для открытой системы при наличии отдельного подпиточного (сетевого) деаэратора

$$G_{ХВО}^{II ст} = G_{ХВО} - (G_{г.с} + G_{г.в}) \quad (3.10)$$

где  $G_{ХВО}^{I ст}$  – производительность фильтров I ступени, м<sup>3</sup>/ч;  $G_{ХВО}^{II ст}$  – то же II ступени, м<sup>3</sup>/ч.

Для производственно-отопительных и отопительных котельных ориентировочно расход воды на отпущенный 1 МВт теплоты по данным Теплоэлектропроекта для закрытой системы теплоснабжения может быть принят по табл. 3.1.

При открытой системе теплоснабжения к принятому по табл. 3.1 значению необходимо добавить расход на горячее водоснабжение, а при мокром золоулавливании и гидрозолоудалении учесть и этот расход.

Таблица 3.1

**Ориентировочный удельный расход воды, потребляемой на единицу отпущенной теплоты из котельной (т/ч)/МВт**

| Топливо    | Единичная тепловая мощность котла, МВт |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|--|------|------|------|------|------|------|------|
|            | 0,58                                   | 1,16 | 2,32 | 4,64 | 7    | 9,3  | 11,6 | 23,2 |
| Твердое    | 1,465                                  | 1,32 | 1,12 | 0,86 | 0,69 | 0,6  | 0,56 | 0,52 |
| Газ, мазут | 0,95                                   | 0,86 | 0,69 | 0,52 | 0,43 | 0,41 | 0,39 | 0,35 |

Более точный метод определения расхода воды выполняется при полном расчете принципиальной тепловой схемы котельной. Расчет, как правило, проводится на ЭВМ.

### 3.2. Осветлительные фильтры

Осветлительные фильтры устанавливаются в случаях, уже указанных в табл. 1.4, и служат для удаления взвешенных веществ. На ВПУ, как правило, осветлительные фильтры устанавливаются после осветлителей, так как очень редки случаи, когда из воды требуется удаление только взвешенных веществ и не применяется коагуляция в осветлителях.

В энергетических установках широко применяются напорные однопоточные фильтры с загрузкой кварцевым песком или дробленным антрацитом, или в этих же фильтрах используют двухслойную загрузку (см. табл. 1.4) — антрацит и кварцевый песок.

При производительности установки более 70 м<sup>3</sup>/ч устанавливают не менее четырех фильтров. Во время промывки одного из фильтров увеличение скорости фильтрования допускается не более 30%.

Рассматриваются два режима работы осветлительных фильтров: нормальный — при работе всех фильтров с периодическим отключением одного на промывку и форсированный — когда один фильтр в ремонте, а второй периодически отключается на промывку. Отклю-

чение фильтра на промывку производится при уменьшении прозрачности фильтрата до 20 см по шрифту или, чаще, при увеличении потери напора на фильтрах до 6—8 м вод. ст. При небольшом содержании взвешенных веществ промывки осуществляются редко (1 раз в 1—3 сут).

Для взрыхляющей промывки фильтрующей загрузки обязательно применение осветленной воды после фильтров.

Основным расчетным фактором для осветлительных фильтров является их производительность, которая кроме заданной величины должна учитывать расход на собственные нужды всех последующих стадий обработки воды. Поэтому при многоступенчатой схеме ВПУ технологические расчеты начинают с хвостовых аппаратов.

Основные технологические данные для расчета осветлительных фильтров приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

**Технологические данные для расчета осветлительных фильтров**

| Параметр  | Тип фильтра            |   |
|---|------------------------|---|
|   | С загрузкой антрацитом | С двухслойной загрузкой кварцевым песком и антрацитом |
| Диаметр зерен фильтрующего материала, мм:                 |                        |   |
| антрацит  | 0,6—1,4                | 0,7—1,7   |
| кварцевый песок   | —                      | 0,5—1,2   |
| Высота фильтрующего слоя, м:                              |                        |   |
| антрацит  | 1                      | 0,5—0,6   |
| кварцевый песок   | —                      | 0,5—0,6   |
| Насыпная масса фильтрующего материала, т/м <sup>3</sup> : |                        |   |
| антрацит  | 0,8                    | 0,8   |
| кварцевый песок   | —                      | 1,6   |
| Скорость фильтрования, м/ч:                               |                        |   |
| нормальный режим  | 5                      | 10  |
| форсированный режим                                       | 7,5                    | 12  |
| Интенсивность взрыхляющей промывки, л/(с·м <sup>2</sup> ) | 10—12                  | 14—16   |
| Продолжительность взрыхляющей промывки водой, мин         | 20                     | 7—6   |
| Режим взрыхляющей промывки (после известкования)          |                        |   |
| а) совместная водовоздушная промывка                      |                        |   |
| интенсивность подачи воды, л/(с·м <sup>2</sup> )          | 6                      | —   |
| интенсивность подачи воздуха, л/(с·м <sup>2</sup> )       | 10                     | —   |
| продолжительность, мин                                    | 2-3                    | —   |
| б) промывка водой:  |                        |   |
| интенсивность подачи, л/(с·м <sup>2</sup> )               | 12                     | —   |
| продолжительность (до прозрачности по шрифту), мин        | 15—20                  | —   |
| Давление воздуха, МПа                                     | 0,3—0,4                | —   |

Приближенно необходимая площадь фильтрования  $F$ , м<sup>2</sup>, при нормальном режиме определяется из уравнения

$$F = G_{\text{хво}} \cdot \alpha / w_{\text{н}} \quad (3.11)$$

где  $G_{\text{хво}}$  — производительность фильтров по осветленной воде, м<sup>3</sup>/ч;  $w_{\text{н}}$  — скорость фильтрования, м/ч;  $\alpha$  — коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды осветлительных фильтров, ориентировочно принимается равным 1,1, затем при наладке

уточняется.

Площадь фильтрования каждого фильтра  $f$  определяется путем подбора соответствующей площади фильтрования стандартных выпускаемых заводами фильтров из уравнения

$$f = F/(a-1) \quad (3.12)$$

где  $a$  — количество фильтров.

Площади фильтрования стандартных фильтров насыпного типа в зависимости от диаметра приведены на рис 3.3.

Таблица 3.3

**Площади фильтрования стандартных фильтров**

|   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Диаметр фильтра, мм                       | 377  | 478  | 720  | 820  | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3400  |
| Общая высота, м                           | 2400 | 2400 | 2600 | 2600 | 2925 | 3310 | 3650 | 3990 | 4250 | 4375  |
| Площадь фильтрования $f$ , м <sup>2</sup> | 0,09 | 0,18 | 0,41 | 0,53 | 0,78 | 1,78 | 3,2  | 5    | 7,05 | 9,25; |

Для выбранных стандартных фильтров определяют скорость фильтрования при нормальном режиме (все фильтры работают, один на промывке):

$$w_n = (G_{\text{ХВО}} + q)/(f \cdot (a - 1)) \quad (3.13)$$

где  $w_n$  — скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч;  $q$  — среднечасовой расход воды на собственные нужды осветлительных фильтров, м<sup>3</sup>/ч.

Расход воды на одну отмывку осветлительного фильтра  $d$ , м<sup>3</sup>, определяется из уравнения

$$d = 60 \cdot i \cdot t \cdot f / 100 \quad (3.14)$$

где  $i$  и  $t$  — соответственно интенсивность, л/(с·м<sup>2</sup>), и продолжительность, мин, взрыхляющей промывки фильтра, принимается по табл. 1.7 в зависимости от принятого характера промывки (водой или водой с воздухом) и использования однослойного или двухслойного фильтра.

Среднечасовой расход воды  $q$ , м<sup>3</sup>/ч, на собственные нужды определяется из уравнения

$$q = d \cdot r \cdot a / 24 \quad (3.15)$$

где  $r$  — число промывок осветлительных фильтров, принимают  $r = 14 \div 2$  в сутки (в конкретных условиях уточняют при наладке).

Скорость фильтрования при форсированном режиме определяется из уравнения

$$w_{\text{ф}} = (Q + q)/(f \cdot (a - 2)) \quad (3.16)$$

где  $w_{\text{ф}}$  — скорость фильтрования при форсированном режиме, м/ч, принимается в пределах, данных в табл. 1.6; 2 — число отключенных фильтров (один на промывке, один в резерве). Если скорость фильтрования превышает допускаемую в табл. 1.6. необходимо увеличить диаметр фильтра либо количество установленных фильтров.

### 3.3. Фильтры для обработки воды ионным обменом

*Режимы работы фильтров.* Схема фильтра показана на рис. 3.1 и 3.3. В рабочем режиме исходная вода проходит через верхний душирующий насадок 1 и поступает на слой канионита или анионита. Объем вещества рассчитывается в соответствии с рекомендациями гл.2.

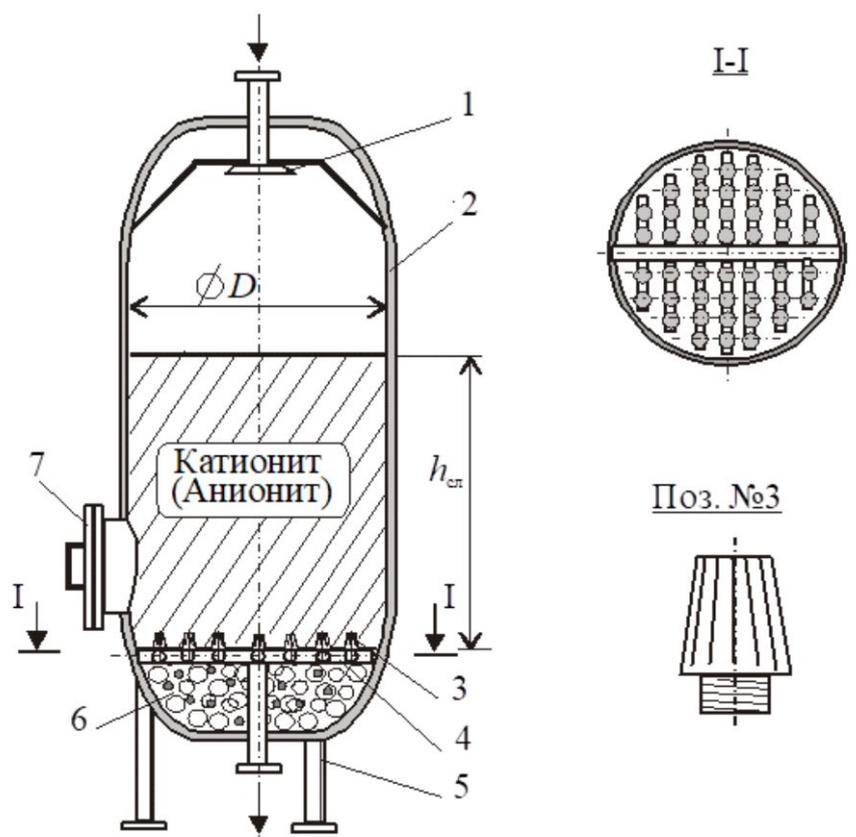


Рис. 3.1. Схема фильтра ионной обработки воды: 1 - душирующий насадок; 2- корпус фильера; 3 - колпачек; 4 - срубная доска; 5 - опоры фильера; 6 - басонная подушка; 7 - люк для выгрузки материала, (хмогра и ремонта)

Корпус фильтра рассчитан на рабочее давление 0,4-0,6 МПа. В нижней его части расположено дренажное устройство, предназначенное для равномерного распределения проходящей воды по сечению фильтра. Дренажное устройство закрепляют в бетонной подушке. Оно состоит из коллектора и системы труб. Вода в трубы входит через штуцера, приваренные к верхней части труб.

На штуцера навинчены пластмассовые колпачки (см. рис. 3.2) с прорезями. На поверхности бетона с дренажными колпачками расположена кварцевая подстилка с крупностью зерен от 10 до 1 мм. Крупность зерен уменьшается снизу вверх. Кварцевая подстилка предохраняет вынос катионитового материала через дренажную систему. Над подстилкой закладывают катионит.

Верхний лаз служит для загрузки кварца и катионита (анионита), а нижний – для осмотра и отвода воды во время промывки кварца или катионита при первичной загрузке.

Фильтры работают в периодическом режиме, потому должны резервироваться.

*Режимы работы фильтров* показаны на рис. 3.2. Всего предусмотрено четыре режима работы фильтров.

Режим 1 – рабочий (см. рис. 3.2). Исходная вода поступает на слой ионита через душирующий насадок. При прохождении сквозь слой ионита происходит обмена ионами  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , обработанная вода через нижний штуцер фильтра идет на дегазацию.

Режим 2 – взрыхляющая промывка. При наличии бака-накопителя отмывочной воды взрыхление ионита осуществляется через этот бак.

В баке-накопителе собирают промывочную соленую воду для использования в процессе взрыхления в следующий период регенерации для экономии расхода соли и воды. При отсутствии промывочного бака промывочную воду сбрасывают в дренаж, в этом случае открывают задвижку 4 (см. рис. 3.2).

Режим 3 – регенерация фильтра. При регенерации сначала взрыхляют фильтрующий

материал, открывая задвижки 5 и 6. Далее в фильтр подают раствор поваренной соли, открывают задвижки 3 и 4 (см. рис. 3.1.).

**Режим 4** – отмывка фильтрующего материала (ионита). После регенерации фильтрующий материал требуется промыть исходной водой для удаления остатка хлоридов Ca и Mg и избытка раствора поваренной соли, для этого открывают задвижки 4 и 5.

Отмывочная вода направляется в бак-накопитель отмывочной воды.

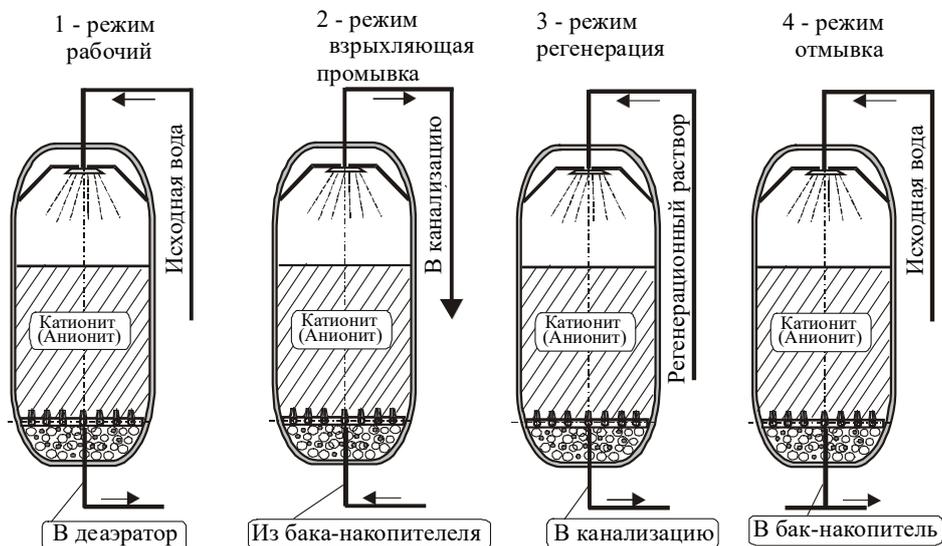


Рис. 3.2. Режимы работы фильтра ионного обмена

Таблица 3.4

**Один цикл работы катионитового фильтра включает четыре операции:**

| № | Наименование операции                       | Продолжительность, мин | Скорость, м/ч               |
|---|---|------------------------|-----------------------------|
| 1 | Фильтрация                                  | < 480 мин (8 ч)        | <25-I ст.<br>< 40-II ст.    |
| 2 | Взрыхление - промывка обратным потоком воды | 15                     | $i=3 \text{ л/м}^2\text{с}$ |
| 3 | Регенерация                                 | 90                     |                             |
| 4 | Отмывка                                     | 15                     | 10                          |

Общая продолжительность промывки фильтра (регенерации) составляет 120 мин, что составляет от 8 до 20 % от продолжительности одного цикла.

Цель расчета катионитовых фильтров: определение размера (диаметра), числа фильтров и расхода соли на одну регенерацию.

Необходимые условия для подбора фильтров:

1. Число регенераций фильтра - не более 3-х и не более 1-го раза в сутки соответственно для фильтров I и II ступени;
2. Скорость фильтрования не более 25 и 40 м/с соответственно для фильтров I и II ступени.

Размеры катионитовых фильтров

| Показатели                                   | Марка фильтра |              |              |              |              |              |              |
|--|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|  | ФИПа-0,7-0,6  | ФИПа-1,0-0,6 | ФИПа-2,0-0,6 | ФИПа-2,6-0,6 | ФИПа-3,0-0,6 | ФИПа-3,4-0,6 | ФИПа-4,0-0,6 |
| Наружный диаметр, м.                         | 0,72          | 1,016        | 1,94         | 2,73         | 3,40         | 3,77         | 4,26         |
| Высота фильтра при высоте слоя сульфогля, м: |               |              |              |              |              |              |              |
|  | 2,0 м         | 2,70         | 3,20         | 3,20         | 3,20         | 3,21         | 3,32         |
| 3,0 м.                                       |               | 3,40         | 4,50         | 4,50         | 4,50         | 4,51         | 4,62         |

Регенерацию катионитового фильтра обычно проводят два-три раза в сутки. Все операции занимают от 1 до 2 ч, поэтому требуется установка резервного фильтра. Кроме резервного фильтра первой ступени для паровых котельных ставят еще барьерные последовательно включенные фильтры второй ступени.

Фильтры второй ступени обеспечивают глубокое умягчение и постоянную жесткость подаваемой воды. Размеры катионитовых (анионитовых) фильтров приведены в каталогах и справочной литературе. Фильтры имеют диаметры 0,7; 1; 1,5; 2; 2,5; 3,0 и 3,5 м при высоте слоя ионита от 2 до 4 м.

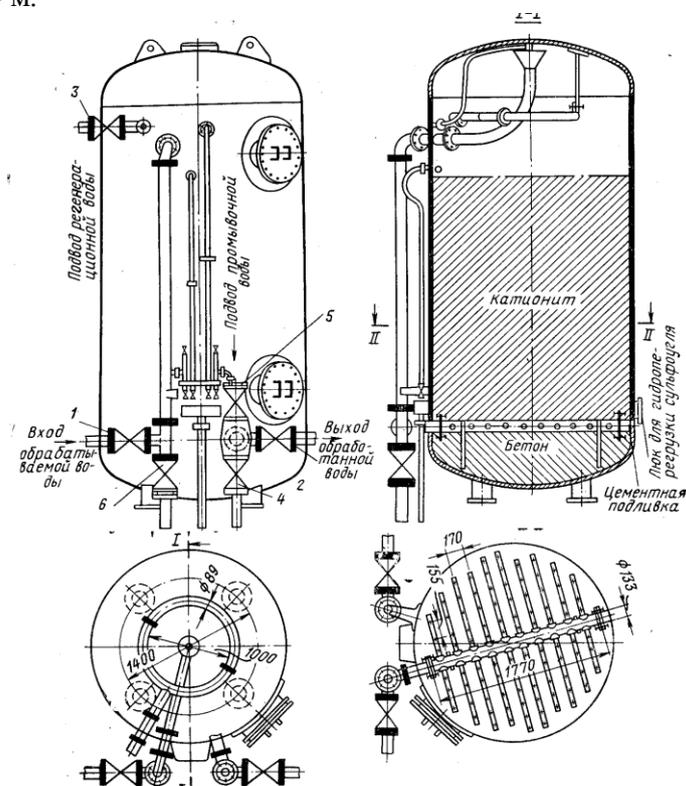


Рис. 3.3. Катионитовый фильтр:

1 – подвод исходной воды; 2 – металлический корпус фильтра; 3 – подвод регенерационного раствора; 4 – сброс воды при отмывке; 5 – запорный клапан; 6 – сброс воды при

взрыхлении

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. 3.6. Рекомендуемые скорости фильтрования: в фильтрах 1-ой ступени – 10–30 м/ч; в фильтрах 2-й ступени – 20–60 м/ч.

Расчет натрий-катионитного фильтра начинают с подбора диаметра фильтра по скорости фильтрования, которую определяют по формуле, м/ч,

$$w_n = (G_{Na}) / (F_{Na} \cdot a) \quad (3.17)$$

где:  $w_n$ , – скорости фильтрования нормальная, м/ч, принимают в зависимости от жесткости умягчаемой воды по табл. 2.7;  $G_{Na}$  – производительность натрий-катионитных фильтров, м<sup>3</sup>/ч;  $F_{Na}$  – площадь фильтрования натрий-катионитного фильтра, м<sup>2</sup> (для выпускаемых заводами фильтров принимают по табл. 3.7);  $a$  – количество одновременно работающих фильтров, как правило, один рабочий другой резервный, который в расчете не учитывается.

Таблица 3.6

**Технологические данные для расчета натрий-катионитовых и натрий-хлор-катионитовых фильтров**

| Показатели   | Размерность         | Фильтры I ступени | Фильтры II ступени |         |
|--|---------------------|-------------------|--------------------|---------|
|  |                     |                   | Na                 | Na-Cl   |
| 1  | 2                   | 3                 | 4                  | 5       |
| Высота слоя:<br>-катионита                                       | м                   | 2-2,5             | 2-1,5              | 0,5-1,0 |
| -анионита  | м                   | -                 | -                  | 0,5-1,5 |
| Крупность зерен<br>-катионита                                    | мм                  | 0,5-1,1           | 0,5-1,1            | 0,5-1,1 |
| -анионита  | мм                  | -                 | -                  | 0,4-1,2 |
| Нормальная скорость<br>фильтрования при жесткости,<br>мг-экв/кг: |                     |                   |                    |         |
| до 5   | м/ч                 | 25                | 40                 | 15-20   |
| до 10  | м/ч                 | 15                | 40                 | -       |
| до 15  | м/ч                 | 10                | -                  | -       |
| Потери напора в фильтрах<br>при скорости фильтрования, м/ч:      |                     |                   |                    |         |
| 10   | МПа                 | 0,05              | -                  | -       |
| 20   | МПа                 | 0,06              | -                  | 0,06    |
| 30   | МПа                 | 0,07              | 0,13               | 0,07    |
| 40   | МПа                 | 0,09              | 0,14               | 0,09    |
| Взрыхляющая промывка ионита:                                     |                     |                   |                    |         |
| -интенсивность   | л/м <sup>2</sup> •с | 4*                | 4                  | 3       |
| -продолжительность   | мин                 | 15                | 15                 | 15      |

| 1  | 2  | 3                             | 4                 | 5           |
|--|--|-------------------------------|-------------------|-------------|
| Удельный расход поваренной соли на регенерацию катионита при жесткости обрабатываемой воды, мг-экв/кг:<br>до 5<br>до 10<br>до 15 | г/г-экв<br>г/г-экв<br>г/г-экв  | 120-150<br>130-200<br>170-250 | 300-400<br>-<br>- | -<br>-<br>- |
| Удельный расход соли на 1 м <sup>3</sup> анионита  | кг/ м <sup>3</sup>   | -                             | -                 | 65          |
| Крепость регенерационного раствора   | %  | 5-8                           | 8-12              | 8-12        |
| Скорость пропускания регенерационного раствора   | м/ч  | 3-4                           | 3-5               | 3-5         |
| Рабочая обменная способность сульфогля при жесткости, мг-экв/кг:<br>до 5<br>до 10<br>до 15                                       | г-экв/м <sup>3</sup><br>г-экв/м <sup>3</sup><br>г-экв/м <sup>3</sup> | 300-330<br>320-350<br>350-360 | 360<br>360<br>360 | -<br>-<br>- |
| Рабочая обменная способность анионита (АВ-17,АН-2Ф) по иону НСО <sub>3</sub> при Щ <sup>а</sup> <sub>об</sub> =1,0-1,5 мг-экв/кг | г-экв/м <sup>3</sup>   | -                             | -                 | 300         |
| Отмывка ионита от продуктов регенерации:<br>-скорость пропускания воды через ионит<br>-удельный расход отмывочной воды           | м/ч<br>м <sup>3</sup> / м <sup>3</sup>                               | 6-8<br>4                      | 6-8<br>4          | 6-8<br>4    |
| Общий удельный расход воды на регенерацию ионита с использованием воды на взрыхление   | м <sup>3</sup> / м <sup>3</sup>                                      | 5                             | 5                 | 5           |

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

Примечание: скорость фильтрования менее 5 м/ч допускать не рекомендуется из-за возможного снижения обменной способности ионита.

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  $A_{Na}$ , удаляемых в натрий-катионитовых фильтрах в сутки, определяют по формуле, г-экв/сут.

$$A_{Na} = 24 \cdot \text{Ж}_0 \cdot G_{Na}, \quad (3.18)$$

где  $\text{Ж}_0$  – общая жесткость воды, поступающей на натрий-катионитовый фильтр, г-экв/м<sup>3</sup>.

Площадь фильтрования стандартных фильтров

|   |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| Диаметр<br>фильтра, Ду,<br>м                | 0,70 | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,60 | 3,00 | 3,40 |
| Площадь<br>фильтрования,<br>$F, \text{м}^2$ | 0,39 | 0,76 | 1,72 | 3,1  | 5,2  | 6,95 | 9,10 |

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

Число регенераций каждого фильтра в сутки  $n$ , рекомендуется принимать один раз (но не более трех) определяют по формуле

$$n = A_{\text{Na}} / (F_{\text{Na}} \cdot h \cdot E_{\text{p Na}} \cdot a) \quad (3.19)$$

где  $h$  – высота слоя катионита, м;  $E_{\text{p Na}}$  – рабочая обменная способность катионита при натрий-катионировании, г-эquiv/м<sup>3</sup>;  $a$  – число работающих фильтров.

Рабочую способность катионита при натрий-катионировании определяют по формуле

$$E_{\text{p Na}} = \alpha_{\text{э}} \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{п}} - 0,5 J_{\text{о}} \cdot q \quad (3.20)$$

где  $\alpha_{\text{э}}$  – коэффициент эффективности регенерации, учитывающий неполноту регенерации катионита в зависимости от удельного расхода соли на регенерацию, принимают по табл. 2.9;

$\beta_{\text{Na}}$  – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита по  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  за счет частичного задержания катионов  $\text{Na}^{+}$  принимают по данным ВОДГЕО. Значения  $\beta_{\text{Na}}$  даны в зависимости от отношения  $(C_{\text{Na}})^{2+} / J_{\text{о}}$  (где  $C_{\text{Na}}$  – концентрация натрия в умягчаемой воде, мг-эquiv/кг). Некоторые значения  $\beta_{\text{Na}}$  приведены ниже;

$E_{\text{п}}$  – полная обменная способность катионита, г-эquiv/м<sup>3</sup>. Для сульфогля в расчетах можно принять: при крупности зерен 0,3–0,8 мм –  $E_{\text{п}} = 550$  г-эquiv/м<sup>3</sup>; при крупности зерен 0,5–1,1 мм –  $E_{\text{п}} = 500$  г-эquiv/м<sup>3</sup>;

$q$  – удельный расход воды на отмывку катионита, обычно равным принимают 4 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>; 0,5 – доля умягчения отмывочной воды.

При отношении  $C_{\text{Na}} / J_{\text{о}}$  равной 0,01 –  $\beta_{\text{Na}} = 0,93$ ; при 0,10 –  $\beta_{\text{Na}} = 0,83$ ; при 0,50 –  $\beta_{\text{Na}} = 0,70$ ; при 1,0 –  $\beta_{\text{Na}} = 0,65$ ; при 5,0 –  $\beta_{\text{Na}} = 0,54$  и при 10 –  $\beta_{\text{Na}} = 0,50$ .

В табл. 3.8 приведена подсчитанная по формуле (3.19) 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.

Коэффициент эффективности регенерации катионита

| Удельный расходсоли на регенерацию катионита, г/г-экв, обменной способности | $\alpha_3$ | Удельный расходсоли на регенерацию катионита, г/г-экв, обменной способности | $\alpha_3$ |
|---|------------|---|------------|
| 100   | 0,62       | 240   | 0,85       |
| 120   | 0,67       | 260   | 0,87       |
| 140   | 0,72       | 280   | 0,88       |
| 160   | 0,75       | 300   | 0,90       |
| 180   | 0,78       | 320   | 0,92       |
| 200   | 0,81       | 340   | 0,93       |
| 220   | 0,83       | 350   | 0,94       |

Межрегенерационный период работы фильтра определяют по формуле

$$T = (24/n) - t_{\text{рег}} \quad (3.20)$$

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

Количество одновременно регенерируемых натрий-катионитовых фильтров определяют по формуле

$$n_{\text{о р}} = (n \cdot a \cdot t_{\text{рег}}) / 24 \quad (3.21)$$

где:  $n_{\text{о р}}$  – количество одновременно регенерируемых фильтров;  $n$  – суточное количество регенераций каждого фильтра;  $a$  – количество одновременно работающих фильтров будет иметь место при величине  $> 12$ .

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% технической соли NaCl на одну регенерацию фильтра определяют по формуле, кг

$$G_{\text{с Na}} = \frac{E_{\text{р Na}} \cdot F_{\text{Na}} \cdot H_{\text{нэ}} \cdot q_{\text{н}}}{1000} \quad (3.22)$$

где  $F_{\text{Na}}$  – площадь фильтрования натрий-катионитного фильтра, м<sup>2</sup>;  $H_{\text{сл}}$  – высота слоя сульфогля, м;  $q_{\text{с}}$  – 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 (см. табл. 3.9).

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. Оптимальный удельный расход соли для Na-катионитовых фильтров первой ступени с остаточной жесткостью 0,1 мг-экв/кг можно принимать в пределах 50–150 г/г-экв.

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

| Содержание натрия в обрабатываемой воде, % от Ж <sub>0</sub> | Удельный расход соли регенерации, г/г-экв | Фракционный состав сульфогля, мм |         |         |         |         |         |         |         |
|--|---|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|  |   | 5                                |         | 10      |         | 15      |         | 20      |         |
|  |   | 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 |
| I  | 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     |

Суточный расход технической соли на регенерацию определяют по формуле, кг/сут

$$G_c^{сут} = n \cdot a \cdot 100/93, \quad (3.23)$$

где: 93 - содержание NaCl в технической соли, %.

Расход воды на регенерацию натрий-катионитного фильтра складывается из:

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

$$Q_{взр} = F_{\phi} \cdot i \cdot \tau_{взр} 60/1000 \quad (3.24)$$

где,  $i$  – интенсивность взрыхляющей промывки фильтров, л/(с·м<sup>2</sup>), принимают по табл. 2.7;  $\tau_{взр}$  – продолжительность взрыхляющей промывки, мин, принимают по табл. 2.7.

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

$$Q_{р.р} = \frac{G_{с.На} 100}{1000 \rho_{\delta,\delta} \cdot b_{\delta,\delta}} \quad (3.25)$$

где:  $b_{р.р}$  – концентрация регенерационного раствора, % (см. табл. 2.7);  $\rho_{р.р}$  – плотность регенерационного раствора т/м<sup>3</sup> (7% – 1,05; 26% – 1,20; концентрированный раствор технической соли 93% – 4,29 т/м<sup>3</sup>).

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

$$Q_{от} = q_{от} \cdot F_{Na} \cdot H_{сл} \quad (3.26)$$

где  $q_{от}$  – удельный расход воды на отмывку катионита, для сульфогля принимается по табл. 2.7, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Полный расход воды на собственные нужды водоподготовки без учета использования отмывочной воды составляет, м<sup>3</sup>:

$$Q_{хво} = Q_{взр} + Q_{р.р} + Q_{от}, \quad (3.27)$$

с использованием отмывочной воды на взрыхление, м<sup>3</sup>:

$$Q'_{хво} = Q_{р.р} + Q_{от}$$

Средний часовой расход воды на водоподготовку, м<sup>3</sup>/ч:

$$Q''_{хво} = (Q_{хво} \cdot a \cdot n)/24 \quad (3.28)$$

Межрегенерационный период работы фильтра, ч:

$$T_{\text{Na}} = 24/n - \tau_{\text{рег}}^{\text{Na}} \quad (3.29)$$

где  $n$  – количество регенераций каждого фильтра в сут;  $\tau_{\text{рег}}^{\text{Na}}$  – время регенерации фильтра, мин.

Время регенерации фильтров (мин) колеблется от многих факторов, поэтому должно определяться как:

$$\tau_{\text{дää Na}} = \tau_{\text{взр}} + \tau_{\text{р.р}} + \tau_{\text{от}} \quad (3.30)$$

где  $\tau_{\text{взр}}$  – определяется по табл. 2.7;  $\tau_{\text{р.р}}$  – время пропуска регенерационного раствора через фильтр, мин:

$$\tau_{\text{р.р}} = (Q_{\text{р.р}} \cdot 60) / w_{\text{р.р}} \cdot F_{\text{Na}}; \quad (3.30)$$

$\tau_{\text{от}}$  – время отмывки фильтра, мин:

$$\tau_{\text{от}} = (Q_{\text{от}} \cdot 60) / w_{\text{от}} \cdot F_{\text{Na}}. \quad (2.31)$$

где  $w_{\text{от}}$  – скорость отмывки, м/ч, принимается по табл. 3.6.

### Хлор-ионирование

Основными данными для расчета хлор-ионитных фильтров являются: количество обрабатываемой воды, м<sup>3</sup>/ч; требуемое снижение бикарбонатов в обрабатываемой воде, мг-экв/кг (решается при выборе схемы); содержание сульфатов в исходной воде, мг-экв/кг, обмениваемых анионитом на хлор, так же как и ион бикарбоната.

Подлежит удалению из обрабатываемой воды в сутки анионов, г-экв/сут

$$A = (\text{Щ}_{\text{и.в}} - \text{Щ}_{\text{о.в}}) Q_{\text{Cl}} \cdot 24, \quad (3.32)$$

где:  $\text{Щ}_{\text{и.в}}$  – бикарбонатная щелочность исходной воды, мг-экв/кг;  $\text{Щ}_{\text{о.в}}$  – остаточная щелочность обработанной воды после хлор-ионирования, мг-экв/кг. Остаточную щелочность из технико-экономических соображений следует принимать максимально допустимую по условиям выбора схемы обработки воды;  $Q_{\text{Cl}}$  – производительность хлор-ионитных фильтров, м<sup>3</sup>/ч.

В расчетах хлор-ионитных фильтров основные технологические данные (скорость фильтрования, потери напора, взрыхление фильтрующего слоя) принимают с такими же параметрами, как для натрий-катионитных фильтров (табл. 3.7).

Обменная емкость поглощения анионита по иону  $\text{HCO}_3^-$  зависит от удельного расхода регенерирующего вещества и значительно от соотношения в исходной воде

$$(\text{HCO}_3^-) / (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{-2})$$

С ростом соотношения (в формуле 2.39) обменная способность увеличивается.

Примечание: По испытаниям, проведенным в промышленных условиях, в фильтре, загруженном анионитом АН-2Ф, при удельном расходе соли 150 г/г-экв поглощенных анионов обменная способность анионита по сумме анионов  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{-2}$  была близка к 1000 г-экв/м<sup>3</sup>.

При расчете на ион  $\text{HCO}_3^-$  удельный расход соли составляет до 500-600 г/г-экв, а рабочая обменная способность анионита около 300 г-экв/м<sup>3</sup>. Исходная вода была сильно минерализована, содержание  $\text{SO}_4^{-2} = 10,5$  мг-экв/кг.

Обменную способность анионита в зависимости от состава воды, удельного расхода соли и остаточной щелочности фильтрата в момент окончания цикла ионирования рекомендуется в расчетах принимать: среднюю щелочность фильтрата за цикл ионирования 0,7 мг-экв/кг; щелочность, в момент окончания цикла ионирования 2,0 мг-экв/кг; обменную способность анионита АН-2Ф по иону  $\text{HCO}_3^-$  – 300 г-экв/м<sup>3</sup>, оптимальный удельный расход соли 65 кг на 1 м<sup>3</sup> анионита.

Число регенераций хлор-ионитного фильтра или объема анионита в смешанном фильтре, принимают не более 3 раз в сутки, при этом одновременно регенерируется и катионит второй ступени, потребность в регенерации которого значительно реже. Число регенераций

хлор-ионитного фильтра в сутки ( $n_A$ ) определяется по формуле

$$n_A = (A_{\text{HCO}_3}) / (F_{\text{Cl}} \cdot h_A \cdot E_{\text{pHCO}_3} \cdot a) \quad (3.33)$$

где:  $A_{\text{HCO}_3}$  – количество удаляемого иона  $\text{HCO}_3$  в сутки определяется по формуле 2.41;  $F_{\text{Cl}}$  – площадь хлор-ионитного фильтра,  $\text{м}^2$ ;  $h_A$  – высота слоя анионита, м (в смешанном фильтре принимают высоту слоя только анионита);  $E_{\text{pHCO}_3}$  – рабочая обменная способность анионита АН-2Ф, принимается (по аниону  $\text{HCO}_3$ ) – 300 г-экв/ $\text{м}^3$ ;  $a$  – число хлор-ионитных фильтров. Рекомендуется устанавливать не менее двух фильтров.

Подобрав необходимый объем анионита в хлор-ионитном фильтре, по числу регенераций находится необходимый расход соли на одну регенерацию, кг

$$Q_{\text{c}}^{\text{Cl}} = 65 V_a, \quad (3.34)$$

где 65 – оптимальный удельный расход соли на регенерацию анионита, кг/ $\text{м}^3$ ;  $V_a$  – объем анионита в хлор-ионитном фильтре,  $\text{м}^3$ .

Расчет расхода воды на регенерацию хлор-ионитных фильтров и расчет натрий-катионитных фильтров в схемах натрий-хлорионирования выполняются в соответствии с указаниями, данными для расчета натрий-катионитных фильтров.

#### Аммоний-натрий-катионирование

Степень обмена катионов жесткости на аммоний ( $A^{\text{NH}_4}$ ) при совместном аммоний-натрий-катионирований или долю воды (что то же самое), поступающей на аммоний-катионитные фильтры при параллельном аммоний-натрий-катионирований, определяют по формуле, %

$$(A^{\text{NH}_4}) = (\text{Ж}_k - \text{Щ}_{\text{ост}}) 100 / (\text{Ж}_k + [\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}]) \quad (3.35)$$

где:  $\text{Ж}_k$  – карбонатная жесткость умягчаемой воды, мг-экв/кг;  $\text{Щ}_{\text{ост}}$  – «условная» (остаточная) щелочность умягченной воды (фильтрата) при совместном аммоний-натрий-катионирований или «условная» щелочность воды после смешения потоков аммоний-натрий-катионированных вод. Принимают 0,3–0,7 мг-экв/кг в зависимости от необходимого снижения щелочности котловой воды;  $[\text{Cl}^-]$ ,  $[\text{SO}_4^{2-}]$  – концентрация ионов хлора и сульфата в умягчаемой воде, мг-экв/кг.

Степень обмена катионов жесткости на натрий при совместном аммоний-натрий-катионировании или (что то же самое), долю воды, поступающей на натрий-катионитные фильтры определяют по формуле, %

$$A_{\text{Na}} = 100 - A^{\text{NH}_4} \quad (3.36)$$

где  $A_{\text{Na}}$  – степень обмена катионов жесткости на натрий или доля воды, поступающей на натрий-катионитные фильтры, %.

В расчетах аммоний-натрий-катионирования, в схеме совместного аммоний-натрий-катионирования, используют следующие технические данные (приведенные для натрий-катионитных фильтров в табл. 2.7): высота слоя и крупность зерен катионита; скорость фильтрования; потери напора на фильтрах; интенсивность и продолжительность взрыхляющей промывки.

Регенерация фильтров при аммоний-натрий-катионировании (параллельном и совместном) производится 2–3 %-ным раствором сульфата аммония со скоростью пропуска регенерационного раствора и отмывочной воды не менее 10 м/ч из опасения загипсовывания катионита (выпадения  $\text{CaSO}_4$  на поверхность зерен катионита).

Удельный расход сульфата аммония и поваренной соли в схемах аммоний-натрий-катионирования рекомендуется принимать при одноступенчатой схеме без повторного использования реагентов 200 г/г-экв, при двухступенчатой схеме с повторным использованием реагентов 140 г/г-экв.

В схеме параллельного аммоний натрий-катионирования рабочую емкость поглоще-

ния аммоний-катионита можно принимать на 10-15 % больше, чем при натрий-катионировании. Крепость регенерационного раствора сульфата аммония принимают не более 2–3 %. Скорость пропуска регенерационного раствора и отмывочных вод принимают не менее 10 м/ч. Удельный расход воды на отмывку от продуктов регенерации принимают 5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> катионита.

В схемах совместного аммоний-натрий-катионирования расчет ведется на полную производительность установки, и рабочая обменная способность катионита принимается, как при натрий-катионировании.

Фильтры регенерируют общим раствором сульфата аммония и хлористого натрия, концентрация сульфата аммония должна быть не более 2–3 %, из расчета этой концентрации определяют объем регенерационного раствора и в нем дополнительно растворяют необходимое количество поваренной соли.

Для определения состава регенерационного раствора при совместном аммоний-натрий-катионировании необходимо определить относительную концентрацию ионов аммония ( $A^{\text{NH}_4}$ ) в регенерационном растворе в процентах от общей массы реагентов (по рис. 3.4)  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}]$  в зависимости от степени обмена катионов жесткости на аммоний  $A^{\text{NH}_4}$ .

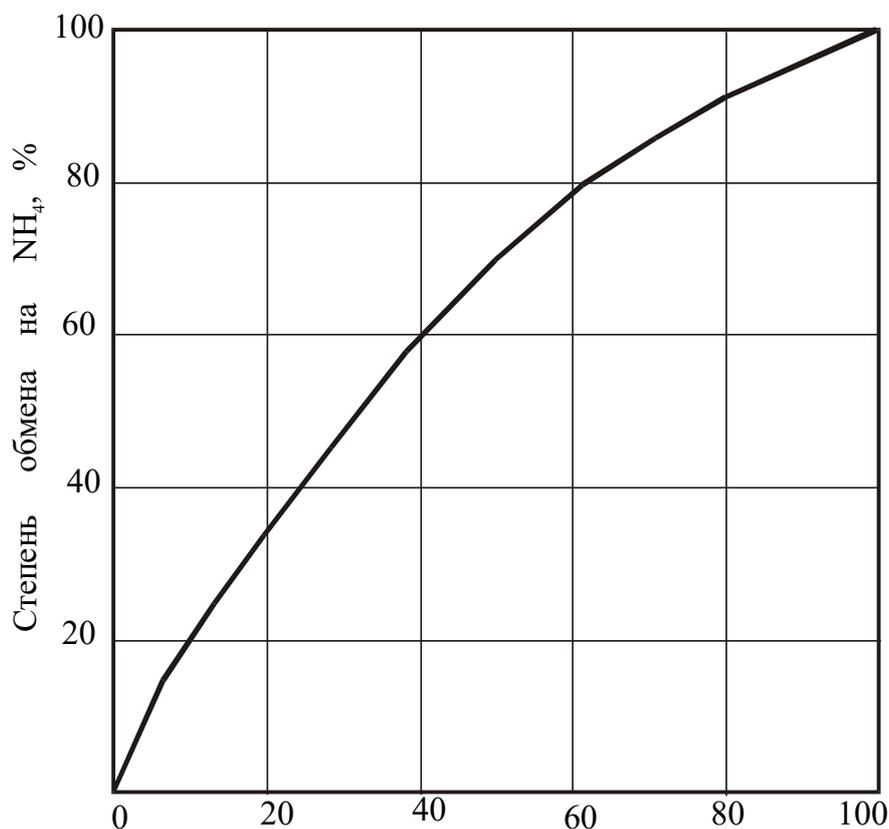


Рис. 3.4. Определение  $A^{\text{NH}_4}$  относительной концентрации  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в регенерационном растворе

Относительную концентрацию ионов натрия в регенерационном растворе можно определить:

$$A^{\text{Na}} = 100 - A^{\text{NH}_4} \quad (3.37)$$

где  $A^{\text{Na}}$ ,  $A^{\text{NH}_4}$  – концентрация ионов натрия и аммония в регенерационном растворе, % (или процентное содержание сульфата аммония и поваренной соли от суммы расхода

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$ ).

Расход реагентов на одну регенерацию фильтра  $G_p$  при совместном аммоний-натрий-катионировании определяются по формулам, кг:

расход сульфата аммония

$$G_{p \text{ NH}_4} = \frac{V \cdot F_p \cdot q_p \cdot A_{\text{Na}}}{1000 \cdot 100}, \quad (3.38)$$

расход поваренной соли

$$G_{p \text{ Na}} = \frac{V \cdot E_p \cdot q_p \cdot A_{\text{NH}_4}}{1000 \cdot 100} \quad (3.39)$$

где  $V$  – объем катионита в фильтре,  $\text{м}^3$ ;  $E_p$  – рабочая емкость поглощения катионита при совместном аммоний-натрий-катионировании (принимается, как и при натрий-катионировании), г-экв/ $\text{м}^3$ ;  $q_p$  – удельный расход реагентов, г/г-экв.

Расход воды на регенерацию аммоний-натрий-катионитного фильтра (в схеме совместного аммоний-натрий-катионирования) складывается из трех составляющих:

расхода воды на взрыхление, определяемого по формуле (3.23);

расхода воды на  $G^{\text{NH}_4}_{\text{вод}}$  приготовление раствора сульфата аммония

$$G^{\text{NH}_4}_{\text{вод}} = (100 A^{\text{NH}_4}_p) / 1000 \nu \cdot \gamma_{p,p} \quad (3.40)$$

где  $\nu$  – концентрация регенерационного раствора сульфата аммония (принимается 2–3 %);  $\gamma_{p,p}$  – удельная масса регенерационного раствора, (1,01-1,02 т/ $\text{м}^3$ );

расхода воды на отмывку катионита ( $G_{\text{от}}$ ) от продуктов регенерации,  $\text{м}^3$

$$G_{\text{от}} = q_{\text{от}} \cdot F^{\text{NH}_4} \cdot h \quad (3.41)$$

где  $q_{\text{от}}$  – удельный расход воды на отмывку аммоний-катионита от продуктов регенерации, принимается 5  $\text{м}^3/\text{м}^3$  катионита;  $F^{\text{NH}_4}$  – площадь фильтрования аммоний-катионитного фильтра,  $\text{м}^2$ ;  $h$  – высота слоя сульфоугля, м.

Расход воды на регенерацию аммоний-катионитного или аммоний-натрий-катионитного фильтра определяют по формуле (2.26), когда не используются отмывочные воды и по формуле (2.27) при использовании отмывочной воды.

### 3.4. Солерастворители, бункера мокрого хранения реагента

*Солерастворитель (фильтр соли).* В помещении водоподготовки предусматривается установка фильтра технической соли, который очищает ее от различных механических примесей и одновременно создает раствор соли с концентрацией 10–12 % (см. рис. 3.5).

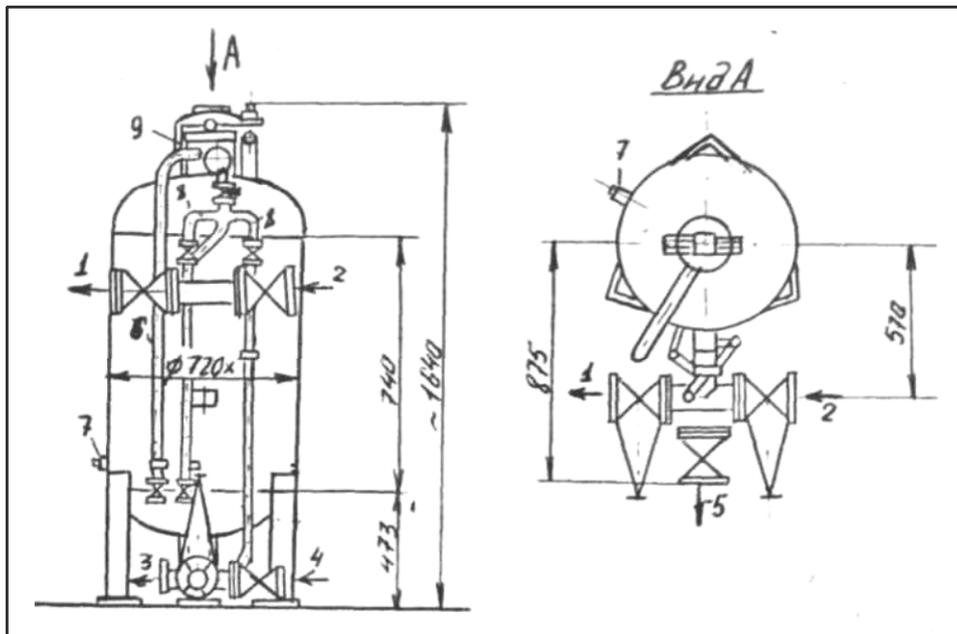


Рис. 3.5. Солерастворитель (фильтр соли) типа Д-27025 (завод-изготовитель – Саратовский завод энергетического машиностроения): 1 – отвод в канализацию; 2 – подвод воды для растворения соли; 3 – отвод раствора очищенной соли; 4 – подвод промывочной воды; 5 – отвод в канализацию; 6 – отвод воздуха; 7 – дренаж; 8 – отбор проб раствора; 9 – загрузка соли

В качестве фильтрующего материала в основном используется кварцевый песок различных фракций (или антрацит). При отсутствии антрацита общая высота слоя песка, для данного типа солерастворителя 560 мм. Объем фильтрующего материала 0,21 м<sup>3</sup>. Соль засыпают вручную через люк 9.

Заводом выпускается также солерастворитель диаметром 480 мм типа В-7075/с.

Расчет солерастворителя сводится к определению его диаметра. Скорость фильтрования крепкого 26 %-ного раствора соли принимается не более 5–7 м/ч.

Определяется максимальный объем крепкого раствора, м<sup>3</sup>, либо исходя из суточного расхода соли  $G_c^{сут}$ :

$$V_{26}^{max} = (G_c^{сут} \cdot 100) / (1000 \cdot 26 \cdot \rho_{26}) = (G_c^K \cdot n \cdot a \cdot 100) / (1000 \cdot 26 \cdot \rho_{26}) \quad (3.42)$$

либо исходя из расхода соли на одну регенерацию  $G_c^K$ :

$$V_{26}^{max} = (G_c^K \cdot 100) / (1000 \cdot 26 \cdot \rho_{26}) \quad (3.43)$$

где  $\rho_{26}$  – плотность 26 %-ного раствора соли (1,197 т/м<sup>3</sup>).

К расчету принимается наибольший объем, полученный при сравнении расчетных объемов.

При использовании солерастворителя как фильтра соли (при наличии бункера мокрого хранения соли) площадь, м<sup>2</sup>, определяется по формуле

$$f = V_{26} / w_c \quad (3.44)$$

Кроме того, при использовании его в качестве растворителя соли необходимо проверить свободный объем солерастворителя, т.е. куда будет загружаться сухая соль. Тогда

$$\begin{aligned} G_c^K \cdot n \cdot a / 1000 \cdot \rho_{26} &\leq (V_c - V_{фм}) \quad \text{или} \\ G_c^K / 1000 \cdot \rho_{26} &\leq (V_c - V_{фм}), \end{aligned} \quad (3.45)$$

где  $V_c$  – полный объем солерастворителя, м<sup>3</sup> [2];  $V_{фм}$  – объем фильтрующего материала, м<sup>3</sup> [2].

В исходной информации необходимо указать, как используется солерастворитель – как фильтр (ф) или как солерастворитель (с).

Сухое хранение технической соли в помещении допускается при расходе ее до 50 кг в сутки. Хранение осуществляется в ларе соответствующего размера, но не менее 2 м<sup>3</sup>.

Емкость склада хранения реагента (технической соли) следует принять [1]:

- на 10-суточный запас при доставке автотранспортом;
- на месячный запас при доставке железнодорожным транспортом. При этом необходимо предусматривать возможность приема одного вагона, или цистерны, или самосвала, т.е. минимальная емкость хранения – 3 м<sup>3</sup>.

Остаток запаса должен быть не менее чем на 10 сут. Запас реагентов определяется исходя из максимального суточного расхода.

При мокром хранении соли, которое осуществляется при суточном расходе соли более 50 кг, емкость резервуаров, м<sup>3</sup>, принимают из расчета 1,5 м<sup>3</sup> на 1 т сухого реагента:

$$V_{\text{бух}} = \frac{1,5 \cdot G_c^{\text{сут}} (V_c + p)}{1000} \quad (3.46)$$

где  $G_c^{\text{сут}}$  – суточный расход технической соли, кг/сут;  $V_c$  – запас соли (реагента), сут;  $p$  – расчетный остаток перед новым поступлением, сут.

Типовые решения предусматривают к установке двухсекционный железобетонный бункер емкостью  $V = 3 \text{ м}^3$  с общим запасом соли на 10 сут, с размером секции 1,75 x 0,9 x 1,00 м.

Бункер монтируется вне здания котельной с заглублением в землю и устройством подъездных путей. Крышка бункера должна быть выше отметки земли, но не более чем на 0,5–0,6 м.

### 3.5. Бак-мерник регенерационного раствора

Емкость бака-мерника выбирается из условия обеспечения расчетным 5–7 %-ным раствором реагента (соли) регенерации одного фильтра I ступени и одного фильтра II ступени. На рис. 3.6 дана конструкция бака-мерника, основной особенностью которого является наличие водоуказательного стекла.

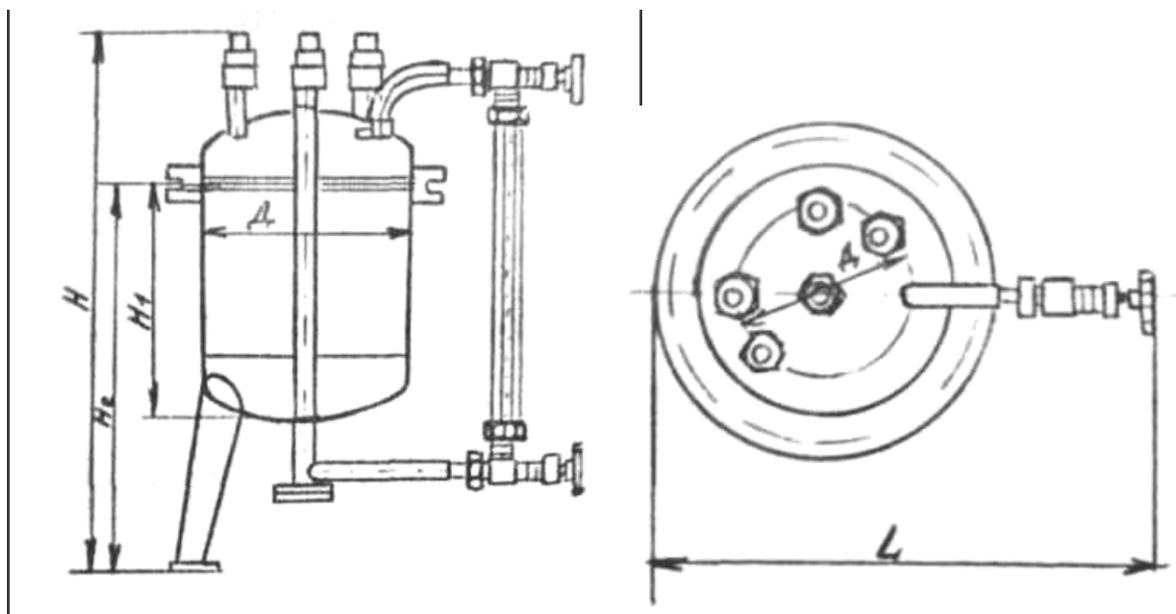


Рис. 3.6. Бак-мерник регенерационного раствора: расположение штуцеров показано для емкости бака 25 л

Для получения заданного раствора соли в бак подается исходная вода. Бак-мерник устанавливается в приемке при наличии бункера мокрого хранения соли на отметке –1,1-1,5

м в зависимости от заглубления бункера.

В табл. 3.10 даны конструктивные характеристики баков вертикальных. Для продления службы баков-мерников внутренняя поверхность их обрабатывается эпоксидными смолами или эмалируется. Баки, находящиеся под давлением, регистрируются в Ростехнадзоре.

Часто баки-мерники изготавливают как нестандартное оборудование под конкретный проект.

Таблица 3.10

| <b>Характеристика баков-мерников вертикальных без рубашки</b> |     |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Емкость бака, дм <sup>3</sup>                                 | 10  | 25  | 63  | 100 | 250 | 630 |
| Расчетное давление, МПа                                       | 0,6 |     |     |     |     |     |
| Размеры, мм   |     |     |     |     |     |     |
| Д   | 273 | 325 | 400 | 400 | 600 | 800 |
| Д1  | 145 | 215 | 280 | 280 | 430 | 550 |
| Д2  | 260 | 310 | 370 | 370 | 520 | 750 |
| R   | -   | -   | 130 | 130 | 150 | 250 |
| Д3  | 15  | 15  | 15  | 15  | 18  | 23  |
| S   | 3   | 3   | 3   | 3   | 4   | 4   |

### 3.6. Подогреватели «сырой» воды

С целью активизации обменной способности катионита, а также улучшения условий эксплуатации и надежности работы оборудования и трубопроводов рекомендуется исходную воду подогревать до 20–40 °С.

Расход теплоты, кДж/ч, на подогрев «сырой» воды

$$Q_{пс} = 10^3 \cdot G_{хво} \cdot c_{в}(t_2 - t_{св}), \quad (3.47)$$

где  $t_2$  – температура воды после подогревателя, °С.  $t_{св}$  – температура исходной воды (зимой +5 °С, летом – +15 °С);  $c_{в}$  – теплоемкость воды, 4,19 кДж/(кг·°С).

Расход пара на подогрев «сырой» воды, кг/ч, (при давлении пара 0,3–0,6 МПа)

$$G_{пс} = Q_{пс} / (i_{нп} - i_{к}) \cdot \eta_{пс}, \quad (3.48)$$

где  $i_{нп}$ ;  $i_{к}$  – соответственно энтальпия насыщенного пара и конденсата, кДж/кг;  $\eta_{пс}$  – КПД пароводяного подогревателя (принимается 0,98).

Среднегарифмическая разность температур, °С,

$$t_{ср} = ((t_{нп} - t_{св}) \cdot (t_{нп} - t_2)) / (2,3 \cdot \lg((t_{нп} - t_{св}) / (t_{нп} - t_2))) \quad (3.49)$$

Требуемая поверхность нагрева, м<sup>2</sup>,

$$F_{пс} = Q_{пс} / K_{пс} t_{ср} \cdot 3600. \quad (3.50)$$

где  $K_{пс}$  – коэффициент теплопередачи для подогревателей, значение которого колеблется в пределах 2,1–3,5 кВт/(м<sup>2</sup>·К) (1800–3000 ккал/(м<sup>2</sup>·ч·°С)).

На рис. 3.7 и 3.8 показаны теплообменники на расход воды от 5 до 40 т/ч.

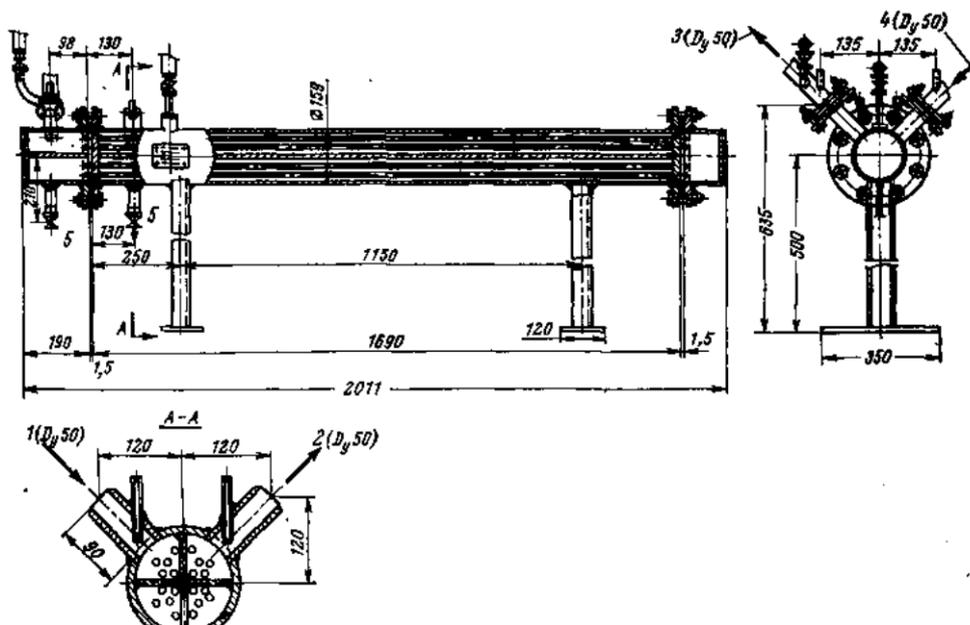


Рис. 3.7. Теплообменник водоводяной 5–10 т/ч (БиКЗ).

1 – вход нагреваемой воды; 2 – выход нагретой воды;  
3 – выход греющей воды; 4 – вход греющей воды; 5 – спуск в дренаж

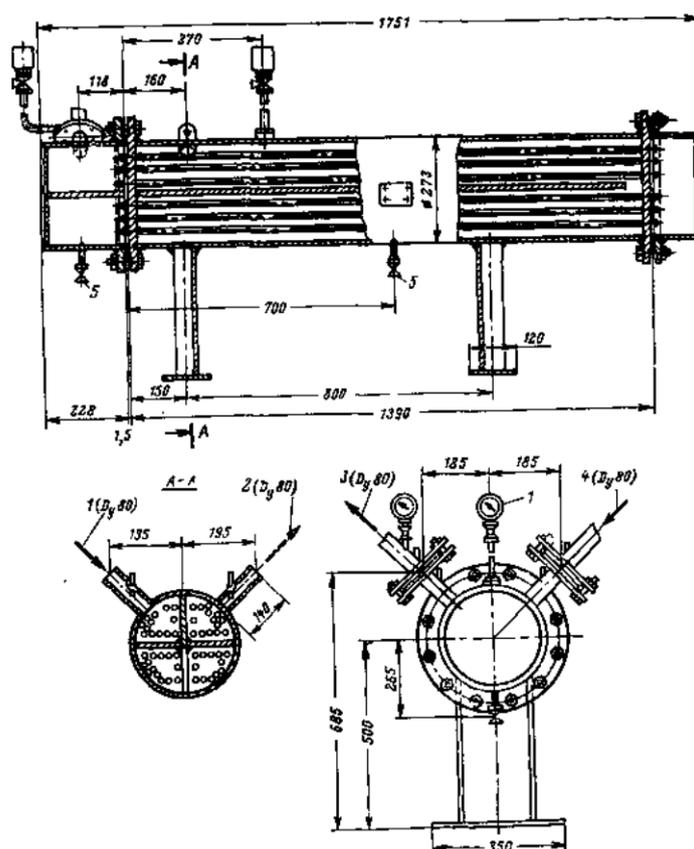


Рис. 3.7. Теплообменник водоводяной на 20-40 т/ч (БиКЗ). 1 – вход нагреваемой воды; 2 – выход нагретой воды; 3 – выход греющей воды; 4 – вход греющей воды; 5 – спуск в дренаж

К установке принимается соответствующий подходящий подогреватель пароводяной или водоводяной. Технические характеристики подогревателей даются в справочной литературе и каталогах.

### 3.7. Насосы «сырой» воды

Назначение и величина подачи (производительности) насосов зависят от типа схемы теплоснабжения. При открытой системе теплоснабжения насосы должны обеспечить подачу воды в деаэрактор подпитки тепловых сетей и горячего водоснабжения, в питательной деаэрактор, а также и максимальный расход, м<sup>3</sup>/ч, на отмывку одного из фильтров, т.е.

$$G_{н.с}^o = G_{хво} + Q_{max}, \quad (3.51)$$

где  $G_{хво}$  – определена по формуле (3.9, 3,10);  $Q_{max}$  – принимается по формуле 3.25.

Для закрытой системы теплоснабжения

$$G_{н.с}^3 = G_{хво}^3 + Q_{max} = 1,2 (G_{гс} + \Sigma D_{пот}) + Q_{max} \quad (3.52)$$

т.е. при  $G_{гвс} = 0$ .

Напор насоса «сырой» воды должен обеспечить подачу воды в деаэрактор (как правило, в питательный) с учетом избыточного давления на входе в деаэрактор (0,01-0,02 МПа) и отметки расположения деаэрационной головки  $h_{г}$  (5–7 м). При этом необходимо преодолеть гидравлическое сопротивление оборудования и трубопроводов согласно принятой принципиальной схеме котельной установки.

Суммарные потери напора, МПа, определяются по формуле

$$\Sigma H_{п} = \Delta h_{п.с} + \Delta h_{ф-I} + \Delta h_{ф-II} + \Delta h_{г} \cdot 0,01 + \Delta h_{вып} + \Delta h_{охл.пр} + \Delta h_{охл} + \Delta h_{тр} + h_{изб}, \quad (3.53)$$

где  $\Delta h_{п.с}$  – потери напора в подогревателе «сырой» воды (0,02- 0,03 МПа);

$\Delta h_{ф-I}$  – потери напора в фильтре I ступени, МПа [2];

$\Delta h_{ф-II}$  – то же II ступени, МПа [2];

$\Delta h_{г}$  – высота подъема воды в деаэрационную колонку, м;

$\Delta h_{вып}$ ,  $\Delta h_{охл.пр}$  – потери напора в охладителе выпара, охладителе продувочной воды (0,02-0,04 МПа);

$\Delta h_{охл}$  – потери напора в охладителе деаэрированной воды (0,03-0,05 МПа);

$\Delta h_{тр}$  – потери напора в трубопроводах и их элементах (0,01-0,05 МПа в зависимости от длины);

$h_{изб}$  – избыточное давление при входе в деаэрактор (0,02 МПа).

Расчетный напор насоса «сырой» воды, МПа,

$$H_{н.с} = 1,2 (\Sigma H_{п} - H_{ввод}), \quad (3.54)$$

где  $H_{ввод}$  – давление в системе хозяйственно-питьевого водопровода перед насосом «сырой» воды, МПа.

На основании полученных результатов по формулам (3.20) или (3.21) и (3.23) [2] выбираем соответствующий ближайший по характеристикам насос. К установке, как правило, принимаются два насоса: один рабочий, другой резервный.

Мощность электронагревателя насоса, кВт,

$$N_{эл} = 1,1 H_{н} \cdot G_{н} / 3,6 \eta_{н} \cdot \eta_{эл} \cdot \eta_{пер}, \quad (3.55)$$

где  $\eta_{н}$  – КПД насоса;  $\eta_{эл}$  – КПД электродвигателя (0,95);

$\eta_{пер}$  – КПД передачи (муфтовой передачи – 0,98).

Характеристики консольных центробежных насосов приведены в табл. 3.11.

### 3.8. Химические насосы и эжекторы соли

В зависимости от принятой схемы водообработки для подачи раствора реагента (NaCl) предусматриваются химические насосы (см. рис. 2.13, поз. 7) либо эжектор (см. рис. 3.8).

Характеристики химических насосов типа Х даны в табл. 3.4.

Характеристики химических насосов выбираются из условия подачи регенерационного раствора с расходом ( $Q_{p,p}$ ) из бака-мерника в фильтры (см. рис. 2.13, поз.7), для подачи отмывочной воды из бака II на взрыхление фильтров (см. рис. 2.13, поз. 10).

Подача насоса, м<sup>3</sup>/ч, для первого случая (поз.7)

$$G_{HX} = 1,2 (\sum Q_{p,p}) / 0,5, \quad (3.56)$$

где 0,5 – время работы химического насоса (принимается 0,5 ч).

Таблица 3.11

**Техническая характеристика центробежных консольных насосов типа К, моноблочных КМ и химических типа Х**

| Марка        | Подача, м <sup>3</sup> /ч | Полный напор, Н, МПа | КПД насоса | Электродвигатель |              | Масса, кг |
|--------------|---------------------------|----------------------|------------|------------------|--------------|-----------|
|              |                           |                      |            | марка            | мощност, кВт |           |
| 1,5К-8/19    | 6-14                      | 0,20-0,14            | 0,44-0,53  | АОЛ2-21/2        | 1,5          | 79        |
| 2К-20/18     | 11-22                     | 0,21-0,18            | 0,56-0,66  | АОЛ2-22/2        | 2,2          | 86        |
| 2К-20/30     | 10-30                     | 0,34-0,24            | 0,51-0,63  | АОЛ2-32/2        | 4,0          | 108       |
| 3К-9         | 30-54                     | 0,35-0,27            | 0,62-0,71  | АО2-42-2         | 7,5          | 129       |
| 3К-9а        | 25-45                     | 0,24-0,19            | 0,62-0,71  | АО2-41-2         | 5,5          | 115       |
| 4К-18        | 60-100                    | 0,26-0,19            | 0,76-0,77  | АОЛ2-42-2        | 7,5          | 133       |
| 4К-18а       | 50-90                     | 0,21-0,14            | 0,73-0,75  | АО2-41-2         | 5,5          | 136       |
| 4КМ-12а      | 85-126                    | 0,29-0,22            | 0,70-0,75  | А2-61-2          | 17,0         | 195       |
| 6КМ-12       | 108-167                   | 0,18-0,20            | 0,70-0,81  | А2-61-4          | 13,0         | 2230      |
| 1,5Х-6д-1-41 | 6-14                      | 0,21-0,14            | 0,45-0,53  | АО2-42-2         | 2,8          | 90        |
| 2Х-9д-1-41   | 14-32                     | 0,20-0,13            | 0,50-0,55  | АОЛ2-32/2        | 4,5          | 110       |

Расчетный напор, МПа,

$$H_{HX} = 1,4 \cdot \Delta h_{\Phi 1}, \quad (3.57)$$

где 1,4 – коэффициент, учитывающий потери напора в трубопроводах и запас на непредвиденные повышения сопротивления.

Для второго случая расход, м<sup>3</sup>/ч,

$$G_{HX} = 1,2 (\sum Q_{взр}) / 0,25, \quad (3.58)$$

где  $\sum Q_{взр}$  – суммарный расход на взрыхляющую промывку, м<sup>3</sup>/ч; 0,25 – продолжительность взрыхляющей промывки (15 мин);

расчетный напор, МПа,

$$H_{HX} = 1,2 \cdot 2 \cdot \Delta h_{\Phi 1}, \quad (3.59)$$

где 2 – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления фильтра при интенсивном взрыхлении.

*Эжектора* (гидроэлеваторы) для подачи солевого раствора изготавливаются из коррозионно-стойких и химически стойких металлов. Внутренняя поверхность эжектора, кроме того, покрывается полиэтиленом, регулирующие прокладки выполняются из кислотно-щелочной резины. Эжекторы для подачи реагентов изготавливал Ереванский завод “Арм-энергоремонт”. Завод выпускал эжекторы водосоляные четырех параметров (см. рис. 3.8).

В зависимости от диаметра фильтров I ступени к установке принимается эжектор соответствующей марки.

Так для фильтра Ø2,0 м – эжектор (ГВЩ-2) имеет размеры: длина 890, Ø сопла 12 мм, присоединительный размер Ø150 мм. Для фильтра Ø2,6 и 3,0 м – эжектор (ГВЩ-2,6 и ГВЩ-3,0) имеют одинаковые размеры: длина 890, Ø сопла 17 мм, присоединительный размер Ø150 мм.

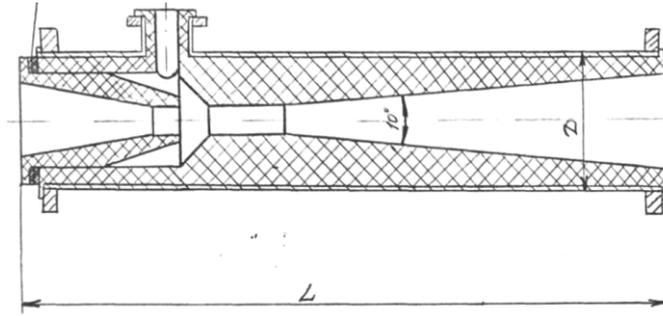


Рис. 3.8. Эжектор (гидроэлеватор) водосоляной типа ГВЦ (ГВС)

### 3.9. Бак отмывочной воды

Емкость бака,  $m^3$ , определяется из условия заполнения его отмывочной водой в объеме, необходимом для взрыхляющей промывки фильтров I и II ступени:

$$V_{6\text{от}} = 1,2 (Q_{\text{взр}}^I + Q_{\text{взр}}^{II}). \quad (3.60)$$

Внутреннюю поверхность бака-мерника и бака хранения отмывочной воды необходимо покрыть антикоррозионным лаком или эпоксидной смолой.

При размерах бака, м,  $b = h$ ;  $l = 1,5 \cdot b$

$$b = 0,87 \cdot \sqrt[3]{V_{6\text{от}}} \quad (3.61)$$

Бак должен быть оборудован люком для внутреннего осмотра и ремонта, переливной трубой и спусником. Перелив и сливы сбрасываются в канализацию. Бак находится под атмосферным давлением.

### 3.10. Декарбонизаторы

Декарбонизаторы – аппараты скрубберного типа, служащие для удаления свободной углекислоты, выделяющейся в процессах водород-катионирования или подкисления воды. В водоподготовительных установках получили распространение декарбонизаторы двух типов: с насадкой из колец Рашига и с деревянной хордовой насадкой.

Декарбонизаторы с хордовой насадкой имеют много недостатков и в последнее время практически не используются.

Декарбонизаторы с насадкой из керамических колец Рашига позволяет уменьшить площадь и высоту декарбонизатора, уменьшить расход воздуха и одновременно получить более глубокий эффект декарбонизации; кроме того, кольца Рашига более долговечны и удобны в эксплуатации при загрузке их в металлический корпус с противокоррозионным покрытием.

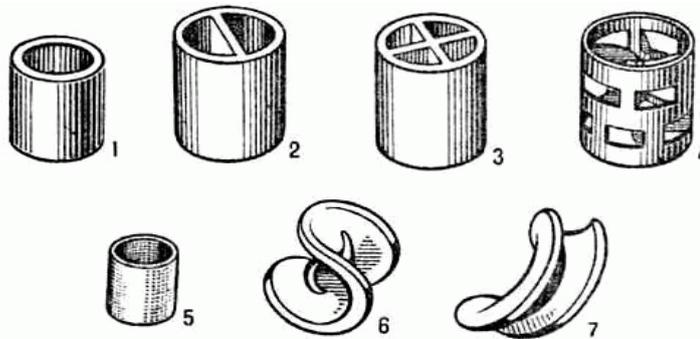


Рис. 3.9. Типы насадок.

1- кольцо Рашига; 2 – кольцо Лессинга, 3 – кольцо с крестообразной перегородкой; 4 – кольцо Палля, 5 – кольцо Барада; 6 – седло Берля; 7 – седло Инталлокс.

Исходными данными для расчета декарбонизатора являются:

- расход воды
- температура декарбонизируемой воды;
- содержание углекислоты до и после декарбонизатора.

Расчет декарбонизатора с насадкой из колец Рашига выполняется по методу, предложенному А. А. Кастальским.

Концентрацию растворенной углекислоты в воде, поступающей на декарбонизатор, при отсутствии, аналитических данных определяют по формуле, кг/м<sup>3</sup>

$$CO_2 = (44 \cdot Ж_к + CO_2^{иВ}) / 1000 \quad (3.62)$$

где  $CO_2$ -концентрация углекислоты в воде, поступающей в декорбанизатор, кг/м<sup>3</sup>;  $Ж_к$  - карбонатная жесткость, исходной воды, разрушаемая в процессе водоподготовки, мг-экв/л;  $CO_2^{иВ}$  - концентрация растворенной свободной углекислоты (равновесной) в исходном виде, мг /л, принимаем по номограмме  $CO_2^{иВ} = 55$  мг/ л (см. справочник О.В.Лифшиц).

Концентрацию свободной углекислоты определяют по значениям щелочности и рН исходной воды по номограмме (рис. 3.10).

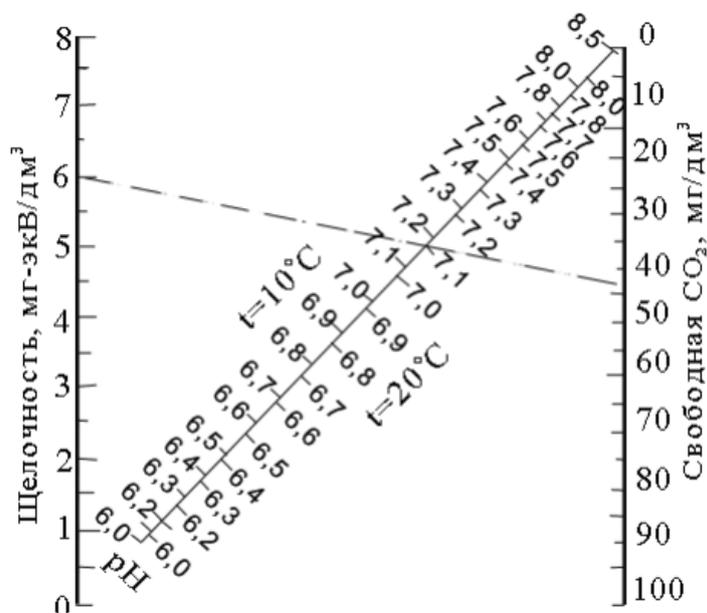


Рис. 3.10. Номограмма для определения свободной углекислоты в воде при сухом остатке 200 мг/дм<sup>3</sup>

В зависимости от величины сухого остатка исходной воды концентрацию свободной углекислоты определяют по формуле:

$$CO_2^{иВ} = CO_2^{таб} \cdot \alpha \quad (3.63)$$

Где  $CO_2^{таб}$  - концентрация свободной углекислоты, определенная по номограмме рис. 3.10, мг/л;  $\alpha$  - поправочный коэффициент на сухой остаток исходной воды (по табл. 3.12)

Таблица 3.12

**Поправочный коэффициент на сухой остаток исходной воды**

|                                      |      |     |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------|------|-----|------|------|------|------|------|
| Сухой остаток,<br>мг/дм <sup>3</sup> | 100  | 200 | 300  | 400  | 500  | 750  | 1000 |
| Поправочный<br>коэффициент $\alpha$  | 1,05 | 1,0 | 0,96 | 0,94 | 0,92 | 0,87 | 0,83 |

Площадь поверхности насадки, м<sup>2</sup>, обеспечивающую заданный эффект удаления углекислоты, определяют по формуле:

$$F=G/(k_{ж} \cdot \Delta C_{ср}) \quad (3.64)$$

где  $G$ -количество углекислоты, подлежащее удалению в декарбонизаторе, кг/ч, определяемое по формуле:

$$G=Q \cdot (CO_2 - CO_2^{O.B.}) \quad (3.65)$$

где  $Q$ -расход воды, поступающей на декарбонизатор, м<sup>3</sup>/ч;  $CO_2$  -концентрация углекислоты в исходной воде, кг/м<sup>3</sup>;  $CO_2^{O.B.}$ - концентрация углекислоты в декарбонизированной воде, принимают 0,005 кг/м<sup>3</sup>;  $k_{ж}$  -коэффициент десорбции углекислоты (для декарбонизатора с кольцами Рашига 25x25x3 и плотностью орошения насадка 60 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) определяют в зависимости от температуры исходной воды по графику на рис. 3.11;  $\Delta C_{ср}$  -средняя движущая сила десорбции, кг/м<sup>3</sup> (определяется по рис. 3.12 в зависимости от концентрации углекислоты в воде до и после декарбонизатора )

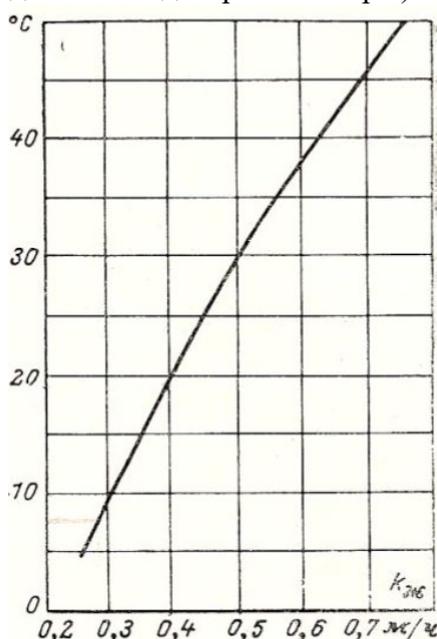


Рис. 3.11. График зависимости коэффициента десорбции  $k_{ж}$  от температуры для декарбонизаторов, загруженных кольцами Рашига 25x25x3 мм, при плотности орошения насадки 60 м<sup>3</sup>/( м<sup>2</sup>-ч)

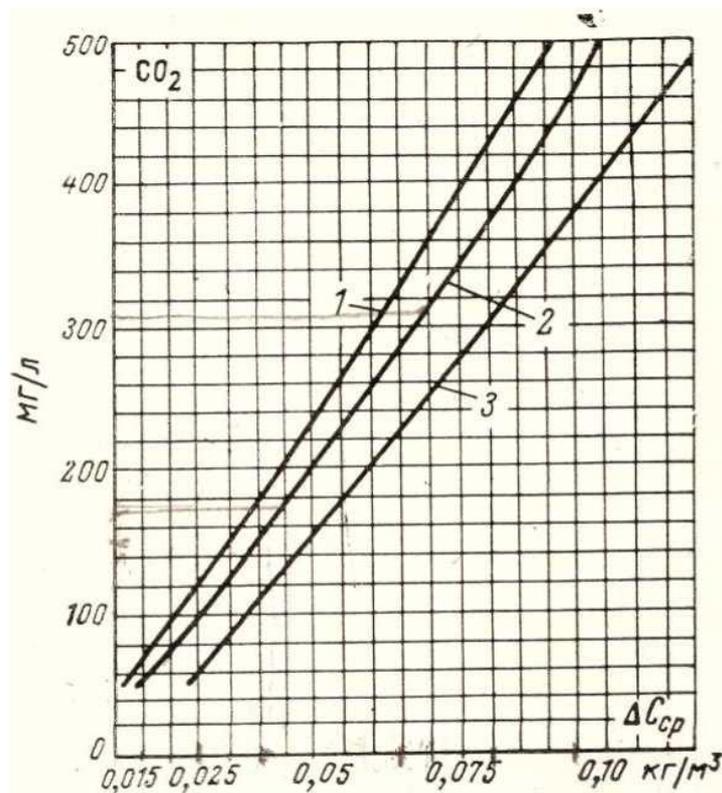


Рис. 3.12. График определения средней движущей силы десорбции  $\Delta C_{cp}$  в зависимости от концентрации  $CO_2$  до декарбонизатора, концентрация  $CO_2$  после декарбонизатора 1 – 3, 2 – 5, 3 – 10 мг/л

#### Определение габаритов декарбонизатора

Площадь поперечного сечения декарбонизатора,  $m^2$ , определяется по формуле:

$$f = Q/60 \quad (3.66)$$

где 60-оптимальная плотность орошения насадки из колец Рашига 25x25x3 мм,  $m^3/(m^2 \cdot ч)$  на единицу площади поперечного сечения декарбонизатора

Диаметр декарбонизатора, м, определяется по формуле:

$$D = (4f/\pi)^{1/2} \quad (3.67)$$

Высота слоя насадки:

$$h = V_{к.р.}/f \quad (3.68)$$

где  $V_{к.р.}$ - объем,  $m^3$ , загрузки занимаемый кольцами Рашига 25x25x3 мм при беспорядочной загрузке в декарбонизаторе, определяется по формуле,

$$V_{к.р.} = F/204 \quad (3.69)$$

где F -поверхность десорбции,  $m^2$ ; 204-поверхность 1  $m^3$  насадки из колец Рашига 25x25x3 мм при беспорядочной загрузке,  $m^2/m^3$

Вентилятор к декарбонизатору должен обеспечивать необходимый расход воздуха и преодолевать сопротивление проходу воздуха через декарбонизатор. Необходимый расход воздуха, подаваемого в декарбонизатор определяется по формуле,  $m^3/ч$

$$Q_{возд.} = b \cdot Q \quad (3.70)$$

где b -удельный расход воздуха при насадке из колец Рашига, принимается: при умягчении 25  $m^3/m^3$ , при обессоливании- 40  $m^3/m^3$

Суммарное сопротивление проходу воздуха через декарбонизатор, мм вод. ст., определяется по формуле:

$$\sum \xi = 25h + 40 \quad (3.71)$$

Где 25-сопротивление проходу воздуха 1 м высоты слоя насадки из колец Рашига, мм вод. ст. ; 40- сопротивление проходу воздуха конструктивных элементов декарбонизатора, мм вод. ст.

Таблица 3.12

## Поправочный коэффициент на сухой остаток исходной воды

| Производительность,<br>м <sup>3</sup> /ч. | Расход<br>воздуха,<br>м <sup>3</sup> /ч. | Карбонатная<br>жесткость,<br>мг экв/л | A,<br>мм | H,<br>мм | H <sub>1</sub> ,<br>мм | h,<br>мм | D,<br>мм | Масса*,<br>кг | N**,<br>шт.<br>насадка |       |
|---|--|---------------------------------------|----------|----------|------------------------|----------|----------|---------------|------------------------|-------|
| 15  | 300                                      | 4 - 5                                 | 200      | 5219     | 3200                   | 543      | 565      | 1016          | 41700                  |       |
| 25  | 500                                      |                                       | 260      |          | -                      | 528      | 730      | 1561          | 68400                  |       |
| 50  | 1000                                     |                                       | 380      |          | 3300                   | 498      | 1030     | 2900          | 138500                 |       |
| 75  | 1500                                     |                                       | 470      |          |                        | 478      | 1260     | 4157          | 206200                 |       |
| 100                                       | 2000                                     |                                       | 550      |          |                        | 463      | 1460     | 5542          | 278000                 |       |
| 125                                       | 2500                                     |                                       | 610      |          |                        | 442      | 1630     | 6936          | 347800                 |       |
| 150                                       | 3000                                     |                                       | 640      |          |                        | 432      | 1790     | 8571          | 418800                 |       |
| 200                                       | 4000                                     |                                       | 750      |          |                        | 407      | 2060     | 10983         | 553800                 |       |
| 250                                       | 5000                                     |                                       | 875      |          |                        | 387      | 2315     | 14223         | 705800                 |       |
| 300                                       | 6000                                     |                                       | 950      |          |                        | 362      | 2520     | 17366         | 830400                 |       |
| 15  | 300                                      |                                       | 6 - 8    |          |                        | 200      | 5519     | 3450          | 543                    | 565   |
| 25  | 500                                      | 260                                   |          | -        |                        | 528      |          | 730           | 1608                   | 75100 |
| 50  | 1000                                     | 380                                   |          | 3650     | 498                    | 1030     |          | 3116          | 151800                 |       |
| 75  | 1500                                     | 470                                   |          |          | 478                    | 1260     |          | 4484          | 227500                 |       |
| 100                                       | 2000                                     | 550                                   |          |          | 463                    | 1460     |          | 5985          | 233000                 |       |
| 125                                       | 2500                                     | 610                                   |          |          | 442                    | 1630     |          | 7516          | 347100                 |       |
| 150                                       | 3000                                     | 640                                   |          |          | 432                    | 1790     |          | 9256          | 460700                 |       |
| 200                                       | 4000                                     | 750                                   |          |          | 407                    | 2060     |          | 11869         | 609000                 |       |
| 250                                       | 5000                                     | 875                                   |          |          | 387                    | 2315     |          | 15369         | 772000                 |       |
| 300                                       | 6000                                     | 950                                   |          |          | 362                    | 2520     |          | 18709         | 913700                 |       |
| 15  | 300                                      | 9-11                                  |          |          | 200                    | 5819     |          | 3800          | 543                    | 565   |
| 25  | 500                                      |                                       | 260      |          | -                      |          | 528      | 730           | 1815                   | 81800 |
| 50  | 1000                                     |                                       | 380      | 4000     | 498                    |          | 1030     | 3333          | 165700                 |       |
| 75  | 1500                                     |                                       | 470      |          | 478                    |          | 1260     | 4811          | 248000                 |       |
| 100                                       | 2000                                     |                                       | 550      |          | 463                    |          | 1460     | 6430          | 334200                 |       |
| 125                                       | 2500                                     |                                       | 610      |          | 442                    |          | 1630     | 8095          | 416000                 |       |
| 150                                       | 3000                                     |                                       | 640      |          | 432                    |          | 1790     | 9973          | 602200                 |       |
| 200                                       | 4000                                     |                                       | 750      |          | 407                    |          | 2060     | 12756         | 649600                 |       |
| 250                                       | 5000                                     |                                       | 875      |          | 387                    |          | 2315     | 16496         | 842100                 |       |
| 300                                       | 6000                                     |                                       | 950      |          | 362                    |          | 2520     | 20052         | 986600                 |       |
| 15  | 300                                      |                                       | 12-14    |          | 200                    |          | 6119     | 4100          | 543                    | 565   |
| 25  | 500                                      | 260                                   |          |          | -                      | 528      |          | 730           | 1917                   | 88400 |
| 50  | 1000                                     | 380                                   |          | 4300     | 498                    | 1030     |          | 3538          | 179600                 |       |
| 75  | 1500                                     | 470                                   |          |          | 478                    | 1260     |          | 5127          | 248000                 |       |
| 100                                       | 2000                                     | 550                                   |          |          | 463                    | 1460     |          | 6834          | 362000                 |       |
| 125                                       | 2500                                     | 610                                   |          |          | 442                    | 1630     |          | 8595          | 451000                 |       |
| 150                                       | 3000                                     | 640                                   |          |          | 432                    | 1790     |          | 10508         | 543900                 |       |
| 200                                       | 4000                                     | 750                                   |          |          | 407                    | 2060     |          | 13563         | 719700                 |       |

Вентилятор к декарбонизатору должен обеспечить расход воздуха, определенный из выражения (2.24), а напор несколько выше рассчитанного по формуле (2.25) сопротивления проходу воздуха в декарбонизаторе.

### **3.11. Вспомогательное оборудование**

Прочее вспомогательное оборудование водообработки принимается к установке без расчета. К такому оборудованию относятся:

поплавковый регулятор уровня – в бункере мокрого хранения соли (см. рис.1, поз. 3) и баке-мернике;

дренажный водоструйный насос (эжектор) для бункера мокрого хранения соли;

система гидроперегрузки реагента (в сборе);

оборудование установки нитратирования.

### **3.12. Установки умягчения непрерывного действия серии «SF-A»**

Установки непрерывного действия серии «SF-A» предназначены для умягчения воды в отопительных котельных и других объектах с 24-часовым циклом производства.

Такой режим работы наиболее характерен для установок водоподготовки в котельных, при подготовке воды на пищевых, фармацевтических и других непрерывных производствах и жилых зданиях.

Все установки серии «SF-A» состоят из двух натрий-катионитных фильтров с общим блоком управления, и бака-солерастворителя, используемого для приготовления раствора поваренной соли (см. рис. 3.13).

Блок управления предназначен для программирования и проведения процесса регенерации фильтров. Сигнал к началу процесса регенерации поступает от встроенного счетчика воды.

В любой момент времени один из двух катионитных фильтров установки находится в режиме умягчения воды, другой – в режиме регенерации или ожидания.

Как только счетчик зафиксирует пропуск заданного объема воды, блок управления производит переключение фильтров и инициирует регенерацию отработавшего фильтра. Фильтр, находившийся до этого момента в режиме ожидания, переводится в рабочий режим умягчения воды.

Продолжительность всех стадий процесса регенерации может быть запрограммирована в широких пределах. Объем умягченной воды задается на основе расчетных или опытных данных и устанавливается на электронном микропроцессорном блоке управления.

В качестве фильтрующего материала в установках серии «SF-A» используются современные катионообменные смолы, имеющие высокую обменную емкость по солям жесткости.

Работа установок полностью автоматизирована; единственной операцией, производимой вручную, является загрузка твердой соли в бак-солерастворитель.

При необходимости установки могут дополняться элементами, позволяющими встраивать их в общую систему автоматики технологического оборудования котельной.

Корпуса фильтров, входящих в состав установок, изготовлены из полимерных материалов пищевого класса.

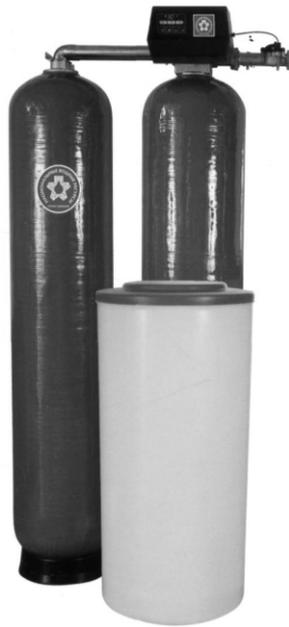


Рис. 3.13. Внешний вид установки SF-A непрерывного действия

Производительность от 0,8 м<sup>3</sup>/ч (модель SF-0844A-850S) до 5,5 м<sup>3</sup>/ч (модель SF-2160A-950S).

Рабочая обменная емкость (РОЕ), мг-экв/л катионита - около 1000 мг-экв/л катионита при дозе соли 110-120 г/л на литр смолы. Используемый ионообменный материал – Сильнокислотная катионообменная смола (КУ-2-8 или импортные аналоги).

Регенерация – автоматическая по сигналу встроенного счетчика воды.

Рекомендации по применению:

- взвешенные вещества – не более 5 мг/кг;
- жесткость общая – до 20 мг-экв/кг;
- общее солесодержание – до 1 000 мг/кг;
- цветность – не более 30 °С;
- железо общее – не более 0,5 мг/кг;
- нефтепродукты – отсутствие;
- сероводород и сульфиды – отсутствие;
- твердые абразивные частицы – отсутствие;
- свободный активный хлор – не более 1 мг/кг;
- окисляемость перманганатная – не более 6,0 мг/кг;
- температура в – 5-35 °С.
- минимальное давление воды – 2,5 кг/см<sup>2</sup>, максимальное – 6,0 кг/см<sup>2</sup>;
- максимальный расход воды, поступающей на установку – не менее требуемой подачи на обратную промывку (см. табл.);
- напряжение электрической сети – 220 В, 50 Гц, сила тока – до 6 А;
- температура воздуха в помещении – 5–35 °С, влажность – не более 70 %.

Не допускается:

- образование вакуума внутри корпуса установки;
- воздействие прямого солнечного света, нулевой и отрицательных температур;
- расположение в непосредственной близости от нагревательных устройств;
- монтаж в помещении с повышенным содержанием пыли в воздухе.

*Вопросы для самопроверке*

1. Как определяется количество воды идущей на водоподготовку?
2. В каких случаях появляются потеки конденсата?
3. Режимы работы натрий-катионитовых фильтров.
4. Конструкция фильтра для ионного обмена.
5. Какие реагенты используются для ионного обмена и какие ионы подлежат удалению.
6. Конструкция солерастворителя (фильтра соли).
7. Назначение подогревателей «сырой» воды.
8. Расчет насосов «сырой» воды.
9. Назначение эжектора соли.
10. Назначение бака отмывочной воды.
11. В чем преимущества установки серии «SF-A».

#### 4. Продувка и использование ее теплоты

Для удаления из водяного объем паровых котлов солей и шлама осуществляют продувку. *Непрерывную* продувку выполняют из тех участков верхнего барабана, где концентрация солей в котловой воде наибольшая; *периодическую* продувку выполняют из мест, где может скапливаться шлам: из нижнего барабана и с нижних коллекторов.

Продувка заключается в удалении из барабана котла части котловой воды с высоким солесодержанием и заменой ее питательной водой с малым солесодержанием. Продувку производят из тех мест водотрубной системы котла, где наиболее высокое солесодержание воды, как показано на рис. 4.1

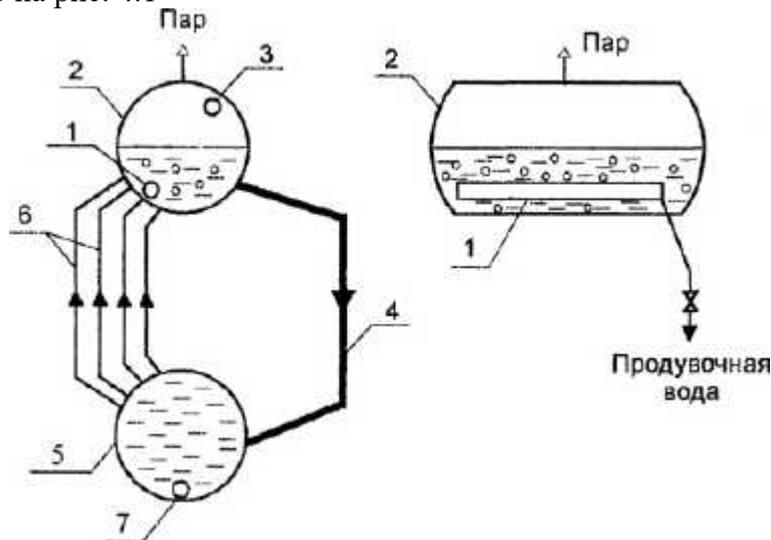


Рис. 4.1. Схема продувки котла при одноступенчатой системе испарения:

1 - труба для отвода продувочной воды; 2, 5 - верхний и нижний барабан; 3 - труба для подвода питательной воды; 4 - опускные трубы; 6 - подъемные (кипятильные) трубы; 7 - труба отвода шлама

Питательная вода подается в барабан по всей длине трубы 3 с отверстиями, проходящей в верхней части верхнего барабана 2. Нижняя аналогичная труба 1, расположенная в нижней части верхнего барабана, предназначена для сбора и отвода продувочной воды. В котлах со ступенчатым испарением продувку осуществляют из солевых отсеков или выносных циклонов. Периодическую продувку применяют для удаления шлама, который обычно скапливается в нижних коллекторах и барабанах котла.

Величина продувки должна быть такой, чтобы солесодержание котловой воды соответствовало требованиям норм качества. Обычно процент продувки котла принимают в зависимости от его паропроизводительности. Принято считать, что для нормальной работы теплогенерирующих установок процент продувки не должен превышать для котлов малой и средней мощности 10%, для котлов большой мощности - 5%, что связано с потерями теплоты с продувочной водой. Величину продувки более указанной допускается принимать при соответствующем технико-экономическом обосновании. Оптимальными считают потери теплоты с продувочной водой в пределах 0,1...0,5% от теплоты сгораемого топлива. Для случаев, когда одноступенчатое испарение требует большого процента продувки, используют ступенчатое испарение. Это позволяет уменьшить количество выводимой с продувкой горячей воды и сократить потери теплоты.

Для использования тепла непрерывной продувки, как правило, следует предусматривать общие на все котлы сепараторы и теплообменники. Использование теплоты продувочной воды обязательно, если ее количество от 0,14 кг/с (0,5 т/ч) до 0,30 кг/с (1,0 т/ч). Использование осуществляется путем установки расширителя продувочной воды (сепаратора пара).

Если количество продувочной воды больше 1,0 т/ч, то устанавливаются и теплообменники для охлаждения продувочной воды. Теплота может быть использована для подогрева воды, идущей в аппараты, и устройства водоподготовки или другие собственные нужды котельной. При величине непрерывной продувки менее 2 % (менее 0,5 т/ч) осуществлять непрерывную продувку нецелесообразно.

Сущность ступенчатого испарения заключается в следующем. Испарительная система котла разделяется на два отсека, соединенных по пару, но разделенных по воде. Питательная вода подается только в первый отсек, а для второго отсека питательной водой будет служить продувочная вода первого отсека. Продувка котла осуществляется из второго отсека. Так как концентрация солей во втором отсеке выше, чем в первом, то для вывода солей требуется меньший процент продувки для котла в целом. В современных паровых котлах широко используется ступенчатое испарение, при этом используются две или три ступени. Сама схема испарения может быть двух типов - с *солевыми отсеками* внутри барабана или с *выносными циклонами*. Рассмотрим более подробно каждый из них.

На рис. 4.2 изображена схема продувки с *солевыми отсеками* внутри барабана котла. Весь объем барабана 1 разделен перегородкой на два неравных по объему отсека 2 и 4.

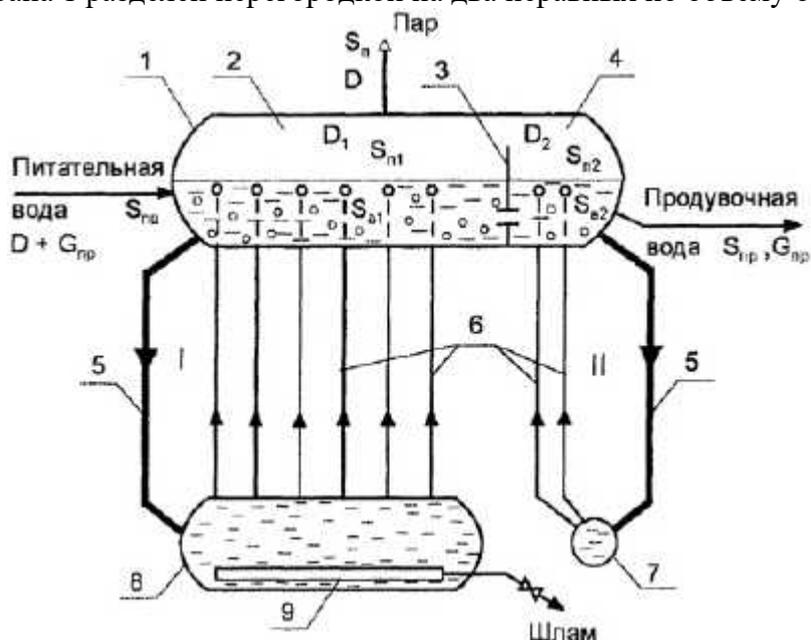


Рис. 4.2. Схема продувки с солевыми отсеками внутри барабана:

1.8- верхний и нижний барабаны; 2. 4 - первый и второй испарительные отсеки; 3 - перегородка; 5 - опускные трусы; 6 - кипяtilьные (подъемные) трубы; 7 - нижний коллектор; 9 - труба отвода шлама

Каждый отсек барабана включен в свой циркуляционный пароводяной контур I или II, при этом в первом контуре паропроизводительность обычно составляет 70...90% от паропроизводительности котла. Во второй циркуляционный контур включают часто боковые экраны топки.

Аналогично выглядит и работает схема продувки с выносными циклонами (сепараторами), изображенная на рис. 4.3.

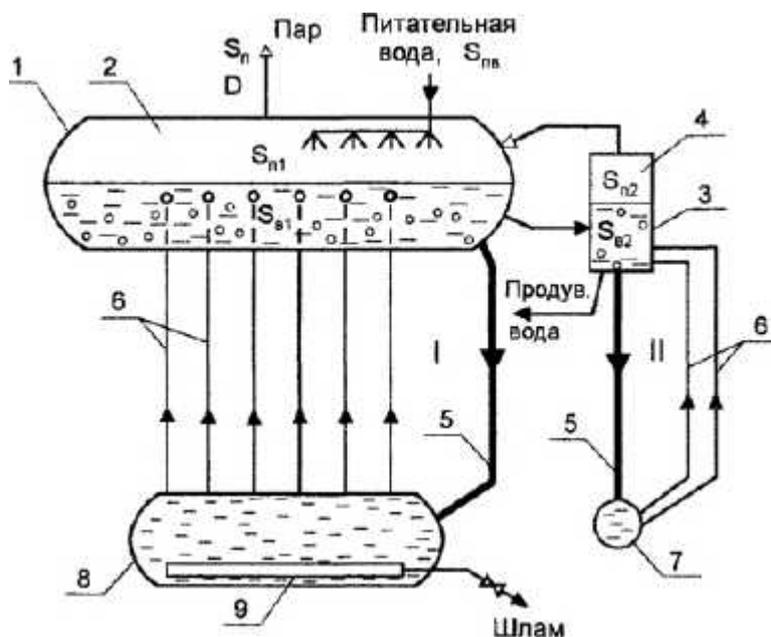


Рис. 4.3. Схема продувки с выносными циклонами:

1.8- верхний и нижний барабаны; 2.4 - первый и второй испарительные отсеки; 3 - выносной циклон; 5 - опускные трубы; 6 - подъемные (кипятильные) трубы; 7 - нижний коллектор; 9 - труба отвода шлама

Установка циклонов приводит к некоторому усложнению агрегата по сравнению с предыдущим случаем, однако такая конструкция исключает "переброс" воды из второго отсека в первый в период работы, что наблюдается иногда в схемах с соевыми отсеками внутри барабана. Когда подпиточная вода имеет умеренную минерализацию, то выполняют двухступенчатое испарение. При низком качестве подпиточной воды может применяться трехступенчатое испарение со встроенной в барабан второй ступенью испарения и выносной третьей ступенью. Паропродуктивность третьей ступени не должна быть ниже 5% от общей паропродуктивности котла. Чем хуже качество подпиточной воды, тем больше следует брать производительности второй и третьей ступеней испарения. Вместе с тем следует придерживаться правила, чтобы мощность первой ступени испарения не была ниже 65...70% от паропродуктивности котла.

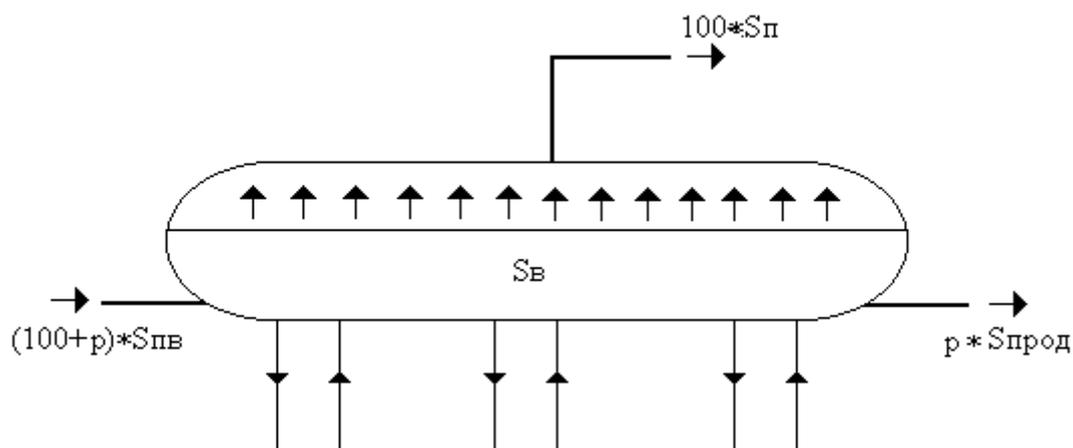


Рис. 4.4. Расчетная схема продувки

Расчет величины продувки можно вести по балансу солей в котельном цикле так:

$$D \cdot S_{п} + G_{пр} \cdot S_{к.в} = G_{п.в} \cdot S_{п.в}, \quad (4.1)$$

где  $s_{\text{п}}$  – солесодержание пара, мг/кг;  $s_{\text{к.в}}$  и  $s_{\text{п.в}}$  – соответственно солесодержание по сухому остатку котловой и питательной воды;  $D$  и  $G_{\text{п.в}}$  – количество пара и питательной воды, кг/ч.

Тогда величина продувки будет определена из выражения, кг/ч

$$G_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{п.в}} \cdot s_{\text{п.в}} - D \cdot s_{\text{п}}}{s_{\text{к.в}}}, \quad (4.2)$$

$$G_{\text{п.в}} = G_{\text{пр}} + D; \quad (G_{\text{пр}}/D)100 = \Pi, \% \quad (4.3)$$

Выражение (4.3) можно записать в виде

$$\Pi_{\text{пр}} = (s_{\text{п.в}} - s_{\text{п}})/(s_{\text{к.в}} - s_{\text{п.в}}) \cdot 100 \%,$$

Если пренебречь малой величиной  $s_{\text{п}}$  (не более 0.3 мг/кг), то

$$\Pi_{\text{пр}} = s_{\text{п.в}} / (s_{\text{к.в}} - s_{\text{п.в}}) \cdot 100 \% \quad (4.4)$$

Но сухой остаток питательной воды в основном зависит от солесодержания химически очищенной воды  $s_{\text{хво}}$ . Тогда солесодержание питательной воды  $s_{\text{п.в}} = s_{\text{хво}} \cdot P_{\text{пот.к}}$ , где  $P_{\text{пот.к}} = (100 - \mu)/100$  потери воды в котельной.

Окончательно можно записать:

$$\Pi_{\text{пр}} = \frac{s_{\text{хво}} \cdot P_{\text{пот.к}}}{s_{\text{к.в}} - s_{\text{хво}} \cdot P_{\text{пот.к}}} \cdot 100, \% \quad (4.5)$$

Для определения относительной щелочности котловой воды, которая также влияет на величину продувки, используют выражение (1.3, гл. 1). При условии  $s = s_{\text{хво}}$  и, соответственно, относительная щелочность химически очищенной и котловой воды одинаковы.

Режим продувки и качество котловой воды устанавливаются путем специальных теплотехнических испытаний. Предельные значения солесодержания котловой воды, рекомендуемые заводами-изготовителями котлов, приведены в таб 4.1.

Таблица 4.1

**Предельные значения солесодержания котловой воды для промышленных котлоагрегатов**

| Тип котла    | Давление, МПа | Солесодержание мг/кг       |                       |  |
|--------------|---------------|----------------------------|-----------------------|--|
|              |               | без ступенчатого испарения |                       | при ступенчатом испарении (в солевом отсеке) |
|              |               | с пароперегревателем       | без пароперегревателя |  |
| ДКВР         | 1,37          | 1500                       | 3000                  | 6000—10 000*                                 |
| ГМ-50-14-250 | 1,37          | —                          | —                     | 7350   |
| БГМ-35М-440  | 3,92          | —                          | —                     | 5000   |
| ГМ-50-1      | 3,92          | —                          | —                     | 5000   |
| Б КЗ-75-36   | 3,92          | —                          | —                     | 7000   |
| ДЕ и КЕ      | 1,37          | —                          | 3000                  | —  |

\* Больше значение относится к котлам с выносными циклонами

Принципиальная схема продувки показана на рис. 4.1. Котловая вода из барабана 1 направляется в сепаратор непрерывной продувки (расширитель) 2. Количество воды регулируется дроссельным вентилем и набором диафрагм контролируется по показаниям манометра.

Образовавшееся при расширении воды количество пара, см. формулу (4.5), отводится обычно в термический деаэратор по линии б. Отделившаяся вода по линии 7 направляется в теплообменник 3. Отдав теплоту, котловая вода сбрасывается в продувочный колодец 4, в который для охлаждения подводится техническая вода по трубопроводу 8.

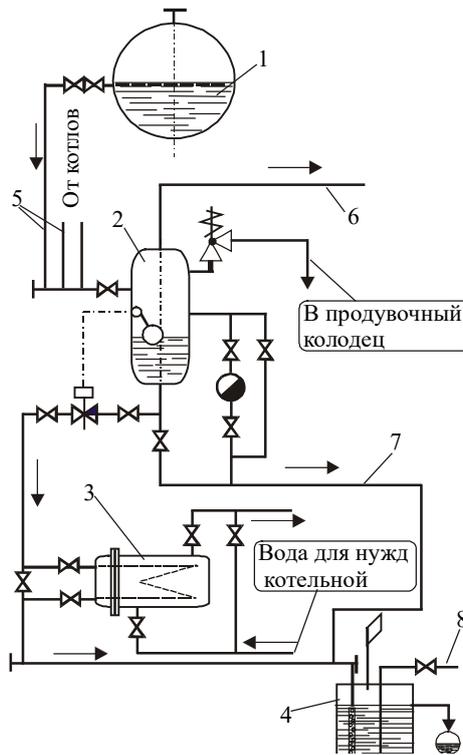


Рис. 4.5. Схема непрерывной продувки парового котла с использованием сбрасываемой теплоты:

1 – барабан котла; 2 – сепаратор непрерывной продувки с регулятором уровня и предохранительным клапаном; 3 – охладитель продувочной воды; 4 – продувочный колодец (барбатер); 5 – продувочные трубопроводы котлов; 6 – отсепарированный вторичный пар в деаэрактор; 7 – котловая вода после сепаратора; 8 – холодная вода из водопровода

*Сепаратор непрерывной продувки.* В отопительных и отопительно-производственных котельных устанавливается, как правило, один сепаратор на все котлы котельной. Количество воды непрерывной продувки определяется:

$$D_{н.пр} = D \cdot z \cdot (\Pi_{н.пр}/100), \quad (4.6)$$

$$\text{где } \Pi_{н.пр} = \frac{S_{к.в}}{S_{к.в} - S_{к.в0} \cdot (1 - \beta)} 100 \quad (4.7)$$

где  $S_{к.в}$  – допустимый сухой остаток в котловой воде по паспорту котла, мг/кг;  $\beta$  – доля пара, выделавшегося из продувочной воды в сепараторе непрерывной продувки:

$$\beta = d = (i_k \cdot \eta - i_{в.п}) / x \cdot r \quad (4.8)$$

где  $i_k$  – энтальпия воды в котле (при расчетном давлении 1,4 МПа  $i_k = 807,4$  кДж/кг);  $\eta$  – коэффициент учитывающий тепловые потери;  $i_{в.п}$  – энтальпия насыщения (при давлении в сепараторе 0,12–0,25 МПа абс.), кДж/кг;  $x$  – степень сухости пара (0,97–0,98), получаемого в сепараторе;  $r$  – теплота парообразования при давлении в сепараторе, кДж/кг.

Общее количество, получаемого вторичного пара в сепараторе, кг/ч

$$D_{в.п} = d \cdot D_{н.пр} \quad (4.9)$$

Объем парового пространства расширителя, м<sup>3</sup>

$$V_{п.р} = (D_{в.п} \cdot v) / R \quad (4.10)$$

где  $v$  – удельный объем пара в давлении в сепараторе непрерывной продувки, м<sup>3</sup>/кг;  $R$  – допустимое напряжение парового объема в сепараторе (принимается 800–1000 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>·ч).

Обычно объем водяного пространства сепаратора непрерывной продувки составляет 20–30 % парового пространства можно подсчитать общий объем сепаратора непрерывной продувки

$$V_{н.пр} = (100)/70 = 1,43 V_{п.р} \quad (4.11)$$

Характеристика выпускаемых сепараторов непрерывной продувки (расширителей) даны в табл.4.1 и на рис. 4.6.

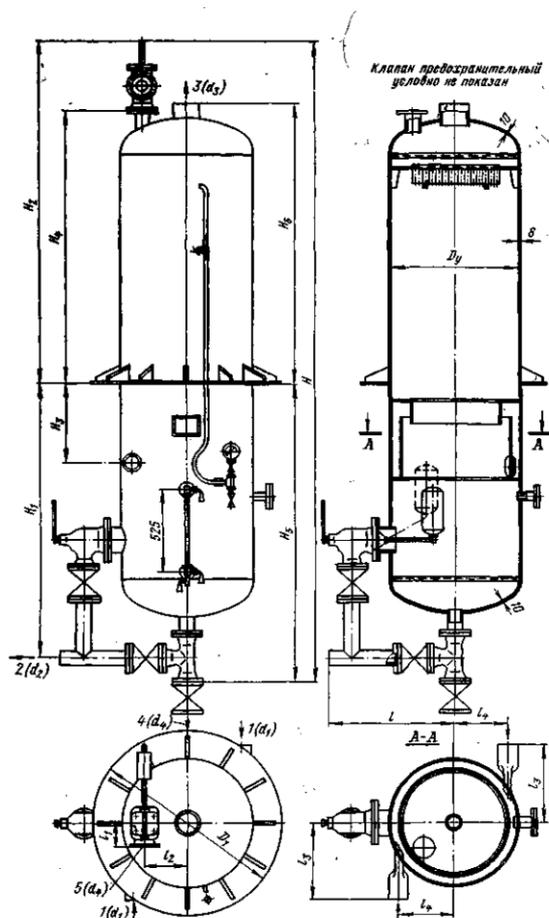


Рис. 4.6. Сепараторы непрерывной продувки СП-0,7 и СП-1,5 (ТКЗ):

1 – вход продувочной воды; 2 – выход отсепарированной воды; 3 – выход отсепарированного пара; 4 – пуск в дренаж; 5 – предохранительный клапан.

Для получения пара хорошего качества постоянный уровень воды в сепараторе поддерживают автоматически поплавковым регулятором.

Кроме того, имеется трубопровод из парового пространства, на котором установлены обратные клапаны и конденсационные горшки.

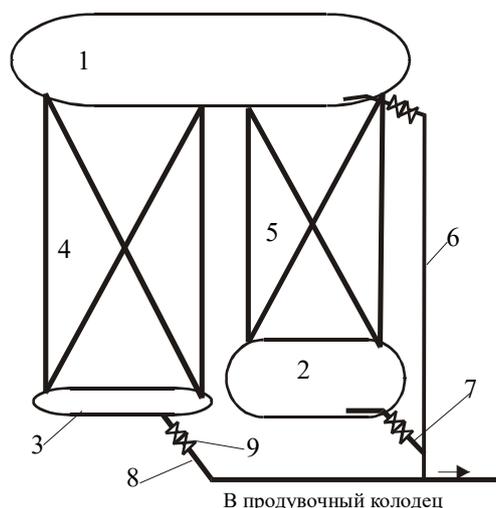


Рис. 4.7. Схема периодической продувки (для примера котла ДКВР): 1 – верхний барабан котла; 2 – нижний барабан; 3 – нижние коллектора котла; 4 – боковые экраны; 5 – конвективные поверхности; 6 – продувка верхнего барабана; 7 – продувка нижнего барабана; 8 – продувка боковых нижних коллекторов.

Следует иметь в виду, что увеличение на 1 % размера продувки при использовании теплоты повышает удельный расход топлива примерно на 0,2 %, а без использования – на 0,3 %.

Периодическая продувка (см. рис. 4.3) проводится в обязательном порядке по графику, разработанному наладчиками, либо по данным химического анализа.

Таблица 4.2

| Характеристика сепараторов непрерывной продувки |      |      |
|---|------|------|
| Типоразмер                                      | 1    | 2    |
| Наружный диаметр, мм                            | 670  | 850  |
| Габаритная высота, мм                           | 2917 | 3534 |
| Полный объем, м <sup>3</sup>                    | 0,7  | 1,75 |
| Паровой объем, м <sup>3</sup>                   | 0,5  | 1,4  |
| Даление избыточное, МПа:                        |      |      |
| рабочее   | 0,6  | 0,6  |
| пробное   | 0,9  | 0,9  |
| Число штуцеров                                  | 4    | 4    |
| Диаметр паровых штуцеров, мм                    | 76   | 150  |
| Диаметр водяных штуцеров, мм                    | 50   | 76   |

*Вопросы для самопроверки*

1. Для чего проводится продувка паровых котлов?
2. Что такое непрерывная продувка?
3. Что такое периодическая продувка?
4. Откуда осуществляется отбор воды непрерывной продувки?
5. Откуда осуществляется отбор воды периодической продувки?
6. Что такое сепаратор непрерывной продувки и его конструкция?
7. Как определить количество вторичного пара после сепаратора непрерывной продувки?
8. Как определить объем парового пространства сепаратора?

## 5. Дегазация питательной и сетевой воды

Исходная, вода, поступающая на обработку, и возвращаемый потребителями конденсат могут содержать растворенные в них газы—кислород, двуокись углерода, аммиак, азот и др. Для удаления газов из питательной и сетевой воды применяется термическая и химическая деаэрация.

Деаэрация (дегазация) – удаление содержащихся в воде газов. Основная цель в котельной технике – удаление агрессивных газов (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), вызывающих коррозию элементов котельной системы. Осуществляется термическим способом.

Обескислороживание – процесс удаления только кислорода. Выполняется химическим способом (реагентный или электрохимический).

### 5.1. Химическая дегазация

#### Электрохимический способ

Электрохимический способ – основан на протекании процессов электрохимической коррозии железа с расходом кислорода при фильтрации воды через слой стальных или чугунных стружек.



В котельных малой и средней мощности как паровых так и водогрейных котлов получило распространение использование металлической стружки для улавливания свободного кислорода.

Технология была на низком уровне и не обеспечивала достаточной эффективности даже обескислороживания воды.

#### Реагентный способ

Реагентный способ – основан на связывании растворенного кислорода химическими веществами (реагентами рис. 5.1), вводимыми в деаэрируемую воду. Рекомендуется для связывания только остаточного кислорода воды, прошедшей деаэратор

Таблица 5.1

| Виды реагентов  |  |
|---|--|
| сульфит натрия - Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>  | гидразин- N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>  |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + O <sub>2</sub> = 2Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                     | O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> = N <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O  |
| Недостатки:<br>- может приводить к коррозии элементов котельных установок,<br>- повышает сухой остаток. | Недостатки:<br>- высокая стоимость,<br>- ядовит,<br>- при pH < 7 усиливает коррозию. |

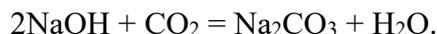
В закрытых систем отопления для химической деаэрации и умягчения воды в подпиточную воду могут дозироваться реагенты для прямого химического связывания кислорода. Обычно для этого применяется сульфит натрия Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> в соотношении 8 мг сульфита натрия на 1 мг растворенного кислорода в 1 литр воды (или 8 г сульфита натрия на 1 м<sup>3</sup> воды при содержании растворенного кислорода 1 мг/кг).

При более высоком содержании растворенного кислорода дозировка сульфита натрия пропорционально увеличивается. Связывание кислорода происходит по реакции



которая протекает при подогреве воды до температуры 70 °С при значении pH = (5–8) достаточно быстро, при этом сульфит натрия соединяется с атомом кислорода и превращается в сульфат натрия, который легко растворим и неопасен в коррозионном отношении.

Одновременно могут дозироваться реагенты для корректировки pH сетевой воды (обычно до значения 8,3–8,5) с целью исключения углекислотной коррозии. Обычно для этого применяется едкий натр NaOH, который связывает свободную агрессивную углекислоту по уравнению:



Сульфит натрия и едкий натр можно смешивать в заданном соотношении (в зависимости от состава исходной воды) и дозировать одной установкой. При достаточно мягкой воде химическую деаэрацию воды можно совместить с противонакипной обработкой ингибиторами солеотложений.

Лучше всего для этого подходят лучшие отечественные реагенты цинковый комплекс ОЭДФ или цинковый комплекс НТФ, которые являются pH-нейтральными реагентами, хорошо совместимыми с сульфитом натрия и едким натром и одновременно являются ингибиторами кислородной коррозии, защищая внутреннюю поверхность системы теплоснабжения от кислородной коррозии защитной цинко-фосфатной пленкой.

Подбор автоматизированных установок реагентной водоподготовки СДР-5 производится индивидуально для каждого объекта, исходя из необходимой производительности по обрабатываемой воде (часового объема подпитки с учетом величины и продолжительности пикового расхода), химического состава обрабатываемой воды и комплектации установки (наличие дублирующих блоков, дополнительных устройств - перемешивающего устройства, уровнемера и т.д.).

Производительность установок по обрабатываемой воде колеблется в широких пределах – от 10 л/ч до 400 м<sup>3</sup>/ч и выше. Все установки сертифицированы.

*Особенности СДР-5:*

- повышенная точность дозирования;
- неизменная производительность при изменении величины противодавления в широком диапазоне;
- малая зависимость от колебаний напряжения электросети;
- применимость установок в процессах предотвращения накипи, коррозии, системах обезжелезивания, обесфторивания, обескислороживания, обеззараживания, деманганации и т.п.;
- система управления построена на базе современной микропроцессорной техники с возможностью диспетчеризации.

В настоящее время широкое распространение стали получать методы использования сложных химических соединений – комплексоном, способных связывать свободный кислород, растворенный в воде (см. разд. 2.5).

Применение химических методов обескислороживания воды (например, сульфитирования) допускается только для закрытых систем теплоснабжения без непосредственного водоразбора [3]

Непосредственная обработка подпиточной и сетевой воды гидразином и токсичными аминами для открытых и закрытых систем теплоснабжения недопустима [3]

## 5.2. Термическая дегазация

По закону Дальтона – Генри массовая концентрация каждого из газов, растворенных в воде, пропорциональна его парциальному давлению над поверхностью. При кипении парциальное давление газов над поверхностью и концентрация их в воде стремятся к нулю, поскольку давление пара равно давлению над кипящей водой.

На рис. 5.1 показана зависимость содержания O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> в воде при ее различных температурах и давлениях.

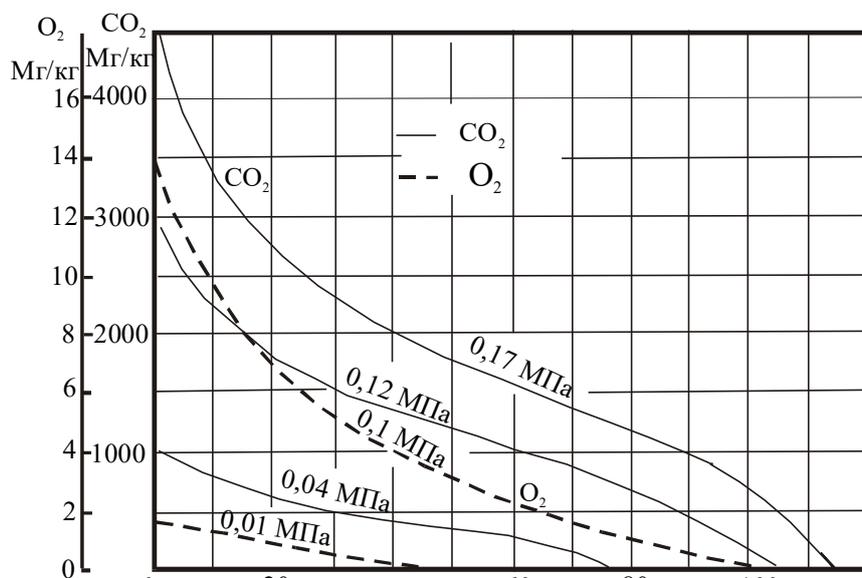


Рис. 5.1. Содержание в воде  $O_2$  и  $CO_2$  в зависимости от температуры и давления

Чем тоньше слой воды, тем интенсивнее идет процесс дегазации. Потому задача конструкции термического деаэрата создания таких условий.

Однако практически в одноступенчатых термических деаэраторах достигнуть полного удаления газов из воды не удастся. Процесс деаэрации осуществляется двумя способами: за счет конвективной диффузии и дисперсного выделения пузырьков газа. Конвективная диффузия происходит в течение всего процесса деаэрации, а дисперсное выделение начинается только с момента достижения водой состояния насыщения.

По данным ЦКТИ интенсивность процесса дисперсного выделения кислорода в одноступенчатом деаэраторе может достигать 70 % его первоначальной концентрации. Для осуществления более глубокой деаэрации необходимо применение второй ступени – барботаж воды паром. Применение барботажа, кроме того, устраняет недогрев воды до температуры насыщения, имеющий место, как правило, после одноступенчатой деаэрации.

В термическом деаэраторе процессы выделения свободной углекислоты и разложения бикарбоната натрия взаимосвязаны.

Термическое разложение бикарбоната натрия наиболее интенсивно происходит после того, как из воды практически будет удалена вся свободная углекислота. Следовательно, в деаэраторе должен быть обеспечен непрерывный отвод в паровое пространство выделяющейся из деаэрированной воды свободной углекислоты. Этот процесс зависит от скорости десорбции, которая и определяет время, необходимое для глубокого разложения бикарбоната натрия.

К конструкции термического деаэратора предъявляют следующие основные требования:

- во всех ступенях деаэратора должен обеспечиваться непрерывный процесс, т. е. должны отсутствовать циркуляционные токи, которые могли бы привести к проскоку необработанной воды;
- должен быть обеспечен четкий противоток воды и пара;
- деаэратор должен вентилироваться необходимым количеством пара. Пар должен содержать минимальное количество газов, удаляемых из воды в деаэраторе;
- при обработке воды в деаэраторе должны быть максимально развитые поверхности контакта фаз и конструкция деаэратора должна обеспечивать многократную обработку воды паром;
- перед последней ступенью деаэрации вода должна выдерживаться при температуре, близкой к насыщению;
- конструкция деаэратора должна исключать возможность повторной аэрации обрабо-

танной воды;

- процесс деаэрации должен быть автоматизирован для обеспечения поддержания необходимой температуры и уровня воды в деаэраторе при переменном режиме работы.

В котельных применяют термические деаэраторы трех типов: *атмосферные* (наиболее распространенные) с абсолютным давлением не более 0,12 МПа и температуре 104 °С; вакуумные – при абсолютном давлении от 0,0075 до 0,05 МПа и температуре от 40 до 80 °С; деаэраторы *высокого давления*, работающие с паровыми котлами давление пара свыше 4,0 МПа.

Остаточная концентрация кислорода в дагазированной воде не должна превышать значений, приведенных в табл. 5.2.

Таблица 5.2

**Остаточная концентрация кислорода в деаэрированной воде**

| Тип деаэратора | Начальная концентрация кислорода  | Остаточная концентрация кислорода, |
|----------------|---|------------------------------------|
| ДСА            | Соответствует состоянию насыщения   | 30                                 |
| ДСА            | 3 мг/л  | 20                                 |
| ДСВ            | Соответствует состоянию насыщения в вакуумных деаэраторах подпиточной воды тепловых сетей | 50                                 |
| ДСВ            | Соответствует состоянию насыщения в вакуумных деаэраторах питательной воды котлов         | 30                                 |

*Примечание.* Свободная углекислота в деаэрированной воде после деаэраторов типа ДСА и ДСВ должна отсутствовать

Полностью отвечают требованиям в части качества деаэрированной воды атмосферные и вакуумные двухступенчатые деаэраторы, разработанные ЦКТИ им. Ползунова.

*Атмосферные деаэраторы.* Для небольших котельных были разработаны деаэраторы типа ДСА-1 и ДСА-3.

Деаэраторы типов ДСА-1 и ДСА-3 – вертикальные бесколонковые двухступенчатые барботажные производительностью соответственно 1 и 3 т/ч предназначались для котельных с паровыми котлами серии Е паропроизводительностью до 1 т/ч. Деаэраторы прошли промышленные испытания и рекомендованы для серийного производства.

Деаэратор представляет собой цилиндрический сосуд с верхним и нижним эллиптическими днищами. Принципиальная схема такого деаэратора представлена на рис. 5.2.

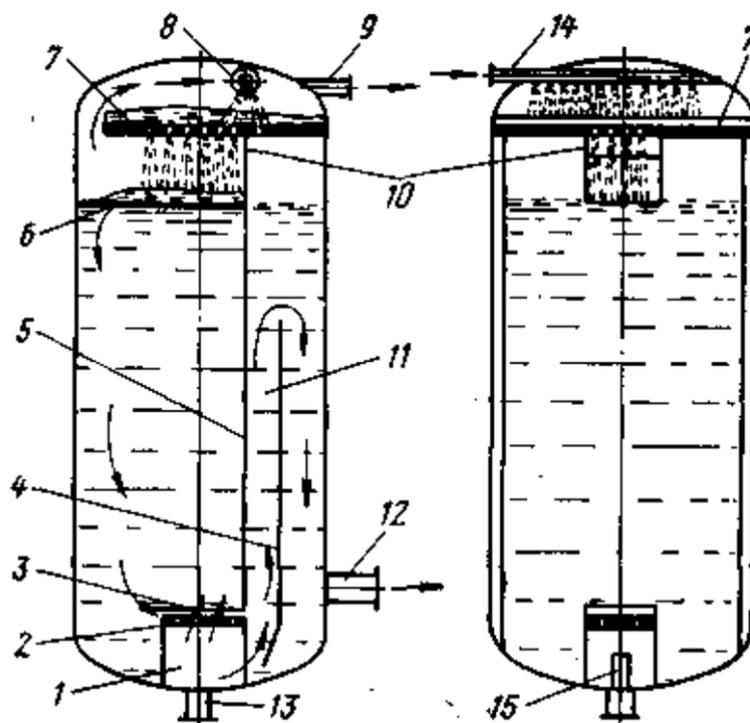


Рис. 5.2. Принципиальная схема вертикального бесколонкового двухступенчатого, деаэрата-  
ра типов ДСА-1 и ДСА-3:

1 – пароприемный короб; 2 – барботажный лист; 3 – барботажный канал; 4 и 5 – вертикальные перегородки; 6 – лоток; 7 – дырчатая тарелка; 8 – перфорированный коллектор; 9 – отвод выпара; 10 – окно; 11 – канал; 12 – отвод деаэрированной воды; 13 – подвод пара к деаэратору; 14 – патрубок подвода обработанной в водоподготовке воды; 15 – пароперепускное окно.

Вода, подлежащая деаэрации, подается к патрубку 14 в распределительный перфорированный коллектор 8, откуда стекает на дырчатую тарелку 7, секционированную с таким расчетом, что при малых нагрузках вода пропускается только через часть отверстий, а при увеличении нагрузки в работу включаются все отверстия.

Далее вода выдерживается в аккумулирующем объеме деаэратора, где дополнительно дегазируется. На барботажном листе 2 вода догревается до температуры насыщения и перегревается. Над барботажным листом 2 происходит интенсивный процесс выделения газов и частичное разложение бикарбонатов. Далее вода поступает в канал 11, где после вторичного вскипания происходит окончательная дегазация воды.

При увеличении расхода пара, превышающем количество, необходимое для барботажа, избыток его через окно 15 отводится в канал 11 минуя барботажное устройство. Выпар конденсируется во встроенном охладителе выпара, расположенном над тарелкой 7. Неконденсирующиеся газы отводятся из деаэратора по трубе 9.

*Деаэраторы типа ДСА производительностью от 5 до 300 т/ч.* Деаэраторы этой серии изготавливаются по чертежам Черновицкого машиностроительного завода и Таганрогским котельным заводом (ТКЗ) – производительностью 150, 200 и 300 т/ч.

Номенклатура барботажных деаэрационных установок атмосферного давления, изготавливаемых промышленностью, приведена в табл. 5.3.

На рис. 5.3. дана схема двухступенчатого барботажного деаэратора. Состоит деаэратор из малогабаритной деаэрационной колонки 1 и бака-аккумулятора 4 со встроенным барботажным устройством 5, 6, 7 с перегородками, образующими специальные отсеки. Патрубка с подводом барботирующего пара 11. Деаэратор оборудуется гидрозатвором с переливом 16.

**Номенклатура барботажных деаэрационных установок атмосферного давления**

| Тип деаэратора | Производительность, т/ч | Полезная емкость бака, м <sup>3</sup> | Масса, кг |
|----------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------|
| ДСА-5/4        | 5                       | 4                                     | 2 366     |
| ДСА-10/7,5     | 10                      | 7,5                                   | 4 095     |
| ДСА-15/10      | 15                      | 10                                    | 4 260     |
| ДСА-25/15      | 25                      | 15                                    | 5 710     |
| ДСА-50/15      | 50                      | 15                                    | 6 062     |
| ДСА-50/25      | 50                      | 25                                    | 7 390     |
| ДСА-75/25      | 75                      | 25                                    | 7 950     |
| ДСА-75/35      | 75                      | 35                                    | 10 052    |
| ДСА-100/35     | 100                     | 35                                    | 10 094    |
| ДСА-100/50     | 100                     | 50                                    | 12 570    |
| ДСА-150/50     | 150                     | 50                                    | 12 880    |
| ДСА-150/75     | 150                     | 75                                    | 16 540    |
| ДСА-200/75     | 200                     | 75                                    | 17 206    |
| ДСА-200/100    | 200                     | 100                                   | 21 117    |
| ДСА-300/75     | 300                     | 75                                    | 17 660    |
| ДСА-300/100    | 300                     | 100                                   | 21 246    |

Деаэрационная колонка имеет две тарелки 2 и 3 с отверстиями, через которые вода стекает в бак-аккумулятор. На первой по ходу воды тарелке 2 смонтировано устройство для лучшего перемешивания поступающих в деаэратор потоков конденсата и химически обработанной воды.

После колонки 1 деаэрируемая вода попадает в бак-аккумулятор 4, в нижней части которого у противоположного торца размещается затопленное барботажное устройство. Барбатирующий пар по трубе 11 подается в паровую коробку 7 и через отверстия дырчатого листа 8 барботирует через слой воды, медленно движущийся над листом в сторону патрубка 13 для отвода деаэрированной воды.

Перед поступлением в барботажное устройство вода некоторое время выдерживается в баке при температуре, близкой к температуре насыщения пара, что улучшает условия десорбции кислорода и углекислоты через поверхность воды и облегчает работу барботажного устройства.

Количество пара, необходимого для деаэрации, определяется тепловым балансом деаэратора. Подается пар в деаэратор после регулятора давления, где снижается до 0,12–0,14 МПа.

На деаэраторах производительностью 50 т/ч и более предусмотрен патрубок 12 для подвода пара с абсолютным давлением 0,12–0,13 МПа. Пар, подаваемый через патрубок 12, не участвует во всех ступенях деаэрации, а осуществляет только вентиляцию парового объема деаэратора, догрев воды до температуры насыщения и создает паровую подушку для предотвращения вторичной загозованности воды. К барботажному устройству должен подаваться пар в количестве не менее 20–30 кг/т деаэрируемой воды.

В комплект деаэрационной установки входят: деаэрационная колонка, барботажное устройство, охладитель выпара, комбинированный гидрозатвор, регулирующие клапаны, запорная арматура и местные измерительные приборы. Деаэрационные баки не входят в объем поставки и изготавливаются по месту по чертежам предприятий – изготовителей деаэрационных установок.

Деаэраторы атмосферного давления могут устанавливаться как в помещениях, так и на открытых площадках.

При открытой установке деаэраторов должны быть обеспечены условия, исключающие выход из строя оборудования, регуляторов, арматуры и трубопроводов, а также разрушение изоляции от воздействия внешней среды.

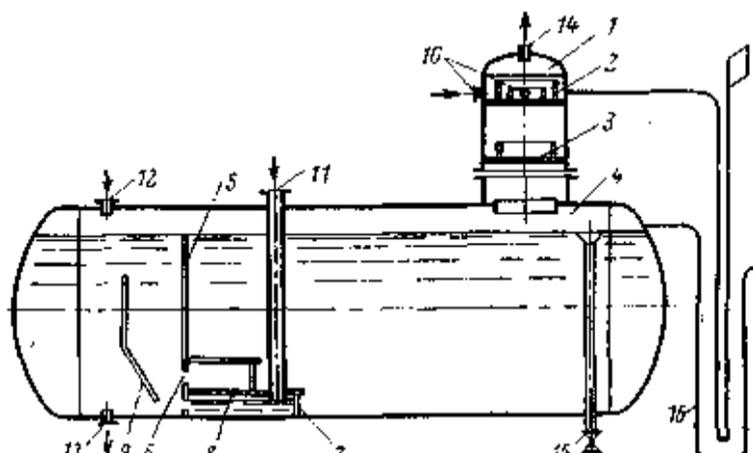


Рис. 5.3. Схема двухступенчатого барботажного деаэратора:

1 – деаэрационная колонка; 2 – верхняя дырчатая тарелка; 3 – нижняя дырчатая тарелка; 4 – бак-аккумулятор; 5 – секционирующая перегородка; 6 – выходное окно; 7 – паровая коробка; 8 – дырчатый лист; 9 – перегородка; 10 – подвод конденсата и химически обработанной воды; 11 – подвод барботирующего пара; 12 – подвод пара давлением 0,12 МПа; 13 – отвод деаэрированной воды; 14 – выпар из деаэратора; 15 – слив; 16 – предохранительный и переливной гидрозатвор (комбинированный).

Деаэраторы необходимо устанавливать на отметке 5–8 м, если питательные насосы установлены на отм. 0,00 м и отсутствует охладитель деаэрированной воды.

На рис. 5.4. показан общий вид атмосферного деаэратора.

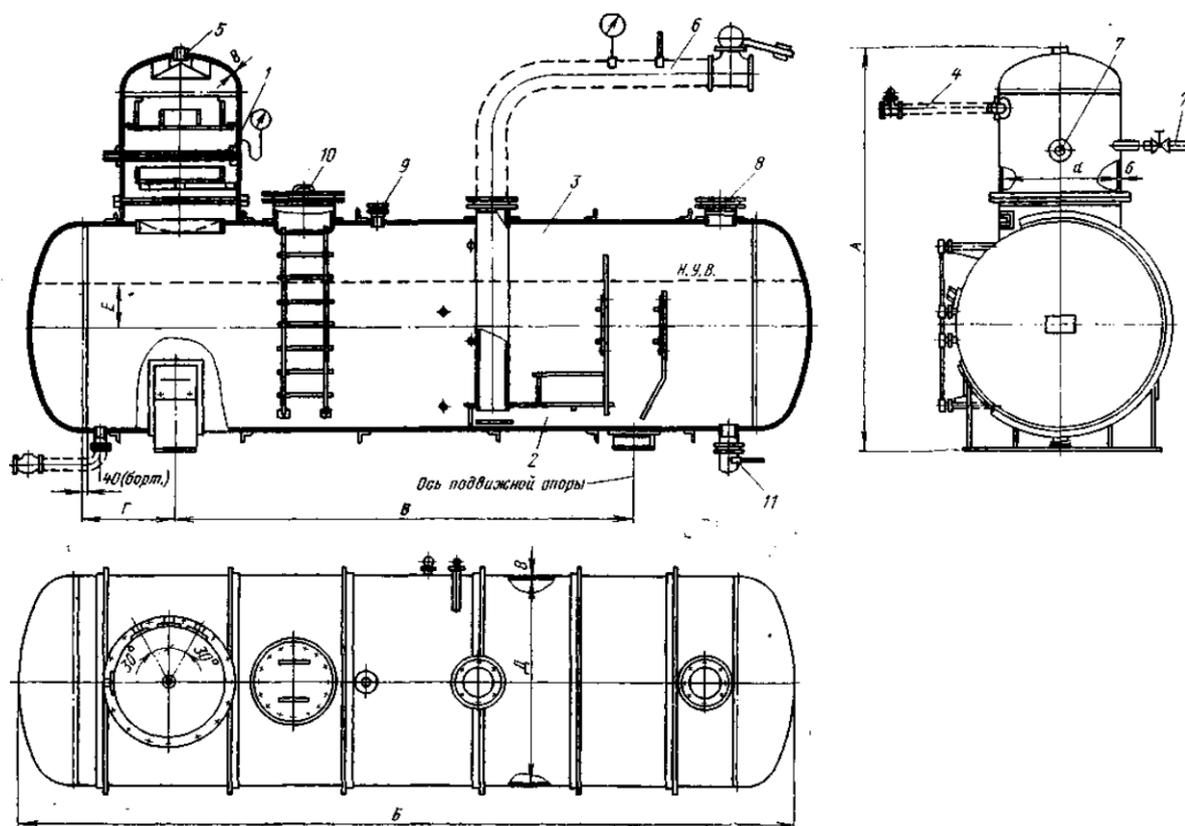


Рис. 5.4. Общий вид двухступенчатого деаэратора атмосферного давления:  
 1 – деаэрационная колонка; 2 – барботажное устройство; 3 – бак; 4 – подвод химически обработанной воды; 5 – выпар; 6 – подвод барботирующего пара; 7 – подвод конденсата; 8 – подвод низкочастотного пара,  $P = 0,12$  МПа; 9 – подвод рециркуляции от питательных насосов; 10 – люк; 11 – отвод деаэрированной воды

*Схема установки атмосферного деаэратора.*

Установка для питания паровых котлов. Принципиальная схема деаэрационно-питательной установки с применением двухступенчатых барботажных деаэраторов конструкции ЦКТИ приведена на рис. 5.5.

Схема предусматривает: систему регулирования деаэратора (регуляторы 5 и 6); защиту деаэратора от превышения давления и от переполнения с помощью комбинированного гидрозатвора 4; установку питательных насосов с электроприводом.

Надежная работа барботажного деаэратора конструкции ЦКТИ при относительно невысокой температуре подаваемой в деаэратор воды ( $25^{\circ}\text{C}$ ) дает возможность использовать в этом случае химически обработанную недеаэрированную воду без предварительного подогрева.

Это позволяет отказаться от применявшихся ранее подогревателей химически обработанной воды, подвергавшихся интенсивной коррозии.

Установка для подпитки тепловых сетей и дегазационной установки для централизованных систем горячего водоснабжения. Схемы таких деаэрационных установок с применением барботажных деаэраторов атмосферного типа принципиально не отличаются от рассмотренной выше.

*Расчет питательных насосов.* Для питания паровых котлов должно быть установлено не менее двух приводимых в действие независимо друг от друга питательных насосов. Суммарная подача (производительность) насосов с электроприводом должна быть не менее 110 %, а с паровым приводом — не менее 50 % номинальной паропроизводительности всех котлов, установленных в котельной. Допускается установка всех питательных насосов только с

паровым приводом. При наличии двух или более независимых источников питания электроэнергией допускается установка питательных насосов только с электроприводом.

Количество и подача насосов выбираются с таким расчетом, чтобы при остановке самого мощного насоса суммарная подача оставшихся насосов была не менее 110 % номинальной паропроизводительности всех котлов. Количество и производительность питательных насосов выбираются по максимальному расходу питательной воды, т/ч

$$G_{\text{макс пит.в}} = 1,1 \cdot 1,03 D_{\text{сум}}, \quad (5.1)$$

где 1,1 – коэффициент запаса; 1,03 – коэффициент, учитывающий величину непрерывной продувки котлов (из первого проекта).

Напор питательного насоса должен выбираться с учетом обеспечения питания котлов водой при давлении соответствующем полному открытию рабочих предохранительных клапанов, установленных на паровых котлах, а также с учетом потери напора в нагнетательной сети. Напор питательного насоса {в МПа} рассчитывается по уравнению:

$$H = P_k + 0,1P_k + \Delta P \quad (5.2)$$

где  $P_k$  – давление в барабане котла, МПа;

0,1  $P_k$  – превышение давления в котле не более 10 %, -разрешенного котлонадзором

$\Delta P$  – потери напора в нагнетательной сети, которые

из сопротивления арматуры, установленной на питательных линиях и на экономайзере, сопротивления самих питательных линий и сопротивления экономайзера, МПа. Так как вышеуказанные сопротивления в курсовом проекте не рассчитываются, то их следует принимать в пределах от 0,2 до 0,5 МПа (чем больше давление в котле, тем больше сопротивление нагнетательной сети). Тип и количество питательных насосов можно выбрать из табл. 5.4 или по каталогу заводов изготовителей насосного оборудования.

Таблица 5.4

**Насосы питательные многоступенчатые типа МСГ и центробежные вихревые типа 2,5 ЦВМ (Температура перекачиваемой воды до 105° С)**

| Параметры                             | ЗМСГ-10             |      |      | 2,5 ЦВМ    |      |      |      |
|---------------------------------------|---------------------|------|------|------------|------|------|------|
|                                       | Количество ступеней |      |      | Типоразмер |      |      |      |
|                                       | 8                   | 9    | 10   | 0,8        | 1,1  | 1,3  | 1,5  |
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч | 34                  | 34   | 34   | 5          | 10   | 15   | 20   |
| Напор, м вод. ст.                     | 184                 | 207  | 230  | 190        | 190  | 190  | 190  |
| КПД, %                                | 63                  | 63   | 63   | 29         | 38   | 32   | 37   |
| Мощность электродвигателя, кВт:       | 20,0                | 30,4 | 33,7 | 17         | 22   | 30   | 40   |
| Габаритные размеры, мм:               |                     |      |      |            |      |      |      |
| длина                                 | 1959                | 2027 | 2097 | Н50        | 1150 | 1255 | 1255 |
| ширина                                | 556                 | 556  | 566  | 458        | 458  | 516  | 516  |
| высота                                | 695                 | 695  | 695  | 450        | 450  | 486  | 486  |

Примечания: Насос нужно выбирать с максимальным КПД. Электродвигатели должны иметь 2950 об/мин. Насосы типа 2,5 ЦВМ поставляются вместе с электродвигателями.

*Расчет и выбор деаэрационно-питательной установки.* Производительность деаэрата должна быть больше максимального расхода питательной воды, рассчитанного по уравнению (5.3).

Деаэрационные установки термической деаэрации воды для паровых котлов комплектуются из устройств, совмещенных с питательными емкостями (баками-аккумуляторами), по расходу деаэрированной воды  $Q_{д.у}$ . Емкость бака должна составлять для котлов паропроиз-

водительностью до 8,33 кг/с (30 т/ч) – 40-минутный запас воды по максимальному расходу; для котлов паропроизводительностью более 8,33 кг/с – 30-минутный запас по максимальному расходу питательной воды. При паропроизводительности котлов до 20,8 кг/с устанавливают один бак-деаэратор питательной воды, а при большей – не менее двух. Деаэратор комплектуется охладителем выпара.

В отопительных ТГУ с водогрейными котлами используются деаэраторы вакуумного типа, которые подбираются также по расходу деаэрированной воды  $Q_{д.у.}$

Газы, выделяемые деаэрированной воды, переходят в паровой поток и остатком неконденсированного избыточного пара (выпара) удаляются из деаэрированной колонки через штуцер, а затем сбрасываются в барботер (иногда через охладитель выпара). Расход избыточного пара ( $D_{вып}$ ) по имеющимся опытным данным ЦКТИ составляет 2 – 4 кг на 1 тонну деаэрированной воды. В курсовом проекте следует принять:  $D_{вып} = 0,003 \cdot W_z$ , где  $W_z$  - суммарный расход деаэрируемой воды.

Энтальпия пара (выпара) принимается равной энтальпии сухого насыщенного пара при данном давлении ( $i''_2$ ). Деаэрированная вода ( $W_0$ ) из бака деаэратаора подается питательным насосом (ПН) в котельный агрегат.

При расчете деаэратаора неизвестными являются расход пара на деаэратаора ( $D_0$ ) и расход деаэрированной воды ( $W_0$ ). Эти величины определяются при совместном решении уравнений массового и теплового балансов деаэратаора.

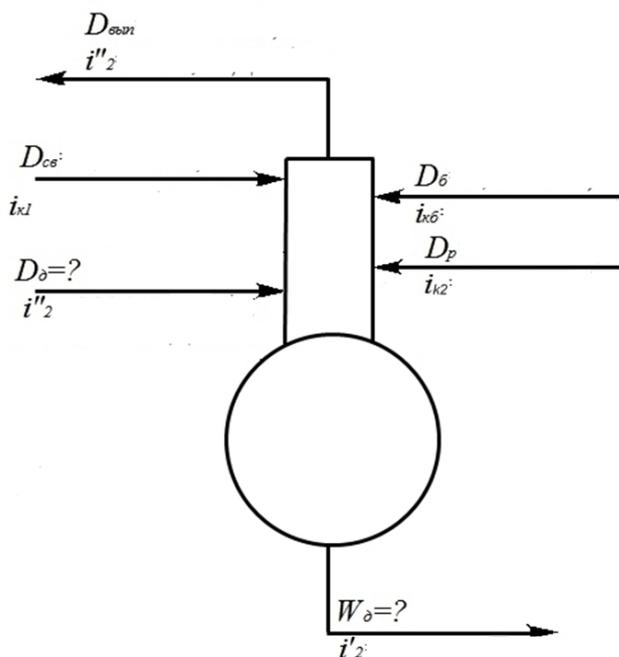


Рис. 5.4. Расчетная схема деаэратаора

$W_0$  – расход деаэрированной воды;  $D_0$  – редуцированный пар поступающий на подогрев воды до температуры насыщения;  $D_{вып}$  – расход избыточного пара (выпара);  $D_б$  – на подогрев сетевой воды;  $D_{св}$  – расход химически очищенной воды;  $i''_2$  – энтальпия пара (выпара);

$i'_2$  – энтальпией деаэрированной воды;  $i_{кб}$  – конденсата

Количество возвращаемого конденсата  $W_z$ , т/ч определяется по уравнению

$$W_z = 0,97(a \cdot D_б + D_{под}) \quad (5.3)$$

где 0,97 —коэффициент, учитывающий потери конденсата в котельной (нормативные потери составляют 3 %); а – доля конденсата  $D_б$ , возвращаемого технологическими потребителями пара (берется из задания);  $D_{под}$  — расход пара на подогрев исходной воды, поступающей на ХВО и химически очищенной воды.

$$D_{\text{вып}} = 0,003 \cdot W_{\Sigma} \quad (5.4)$$

Неизвестным в расчете являются расход деаэрированной воды и расход пара на деаэрацию. Запишем уравнение теплового и массового балансов (предположим для деаэратора  $\eta_{\text{п}} = 1$ ):

$$D_{\text{д}} \cdot i_2'' + D_{\text{св}} \cdot i_{\text{к}} + D_{\text{б}} \cdot i_{\text{кб}} + D_{\text{р}} \cdot i_{\text{к2}} = W_{\text{д}} \cdot i_2' + D_{\text{вып}} \cdot i_2'' \quad (5.5)$$

$$D_{\text{д}} + D_{\text{св}} + D_{\text{б}} + D_{\text{р}} = W_{\text{д}} + D_{\text{вып}} \quad (5.6)$$

Из уравнения (16) находим:

$$D_{\text{д}} = W_{\text{д}} + D_{\text{вып}} - D_{\text{св}} - D_{\text{б}} - D_{\text{р}} \quad (5.7)$$

Подставляем полученное значение в уравнение (15) и решаем его относительно  $W_{\text{д}}$ , находим значение расхода пара  $D_{\text{д}}$  поступающего на подогрев воды в деаэраторе.

Подачу насосов определяется, т/ч:

$$Q_{\text{п.м.}} = 1,05 \cdot 1,2 \cdot D \cdot m, \quad (5.8)$$

где  $D$  - производительность котлоагрегата;  $m$  - количество котлов;

Напор питательных насосов, МПа:

$$H_{\text{п.м.}} = P_{\text{к}} + h_{\text{тр}} + h_{\text{охл}}, \quad (5.9)$$

где  $P_{\text{к}}$  - давление в барабане котла;  $h_{\text{тр}}$  - суммарные потери в питательных трубопроводах;  $h_{\text{охл}}$  - сопротивление охладителя деаэрированной воды ( $h_{\text{охл}} = 0,3$  МПа).

Мощность двигателя питательного насоса, кВт:

$$N_{\text{п.п.}} = (1,1 \cdot Q_{\text{п.м.}} \cdot H_{\text{п.м.}}) / (102 \cdot 3600 \cdot \eta_{\text{эл.дв}} \cdot \eta_{\text{п.н}}) \quad (5.10)$$

К установке принимаем два паровых насоса ПДВ (ПДГ) производительностью не 50 % от номинальной мощности котельной, давление в напорном патрубке 2 МПа.

Определяется подача и напор пускового насоса из условия обеспечения работы одного котла.

Производительность деаэрационной установки соответствует подаче питательных насосов, т/ч.

$$Q_{\text{д.у.}} = Q_{\text{п.м}} \quad (5.11)$$

Емкость деаэрационного бака должна обеспечивать запас питательной воды сроком на 20-30 минут.

**Вакуумные деаэраторы.** Термические вакуумные деаэраторы, работающие при давлении ниже атмосферного, и в ряде случаев их применение является единственно возможным, например в котельных с водогрейными котлами. Вакуумные деаэраторы выдают воду с температурой ниже 100 °С (от 40 до 70 °С), что не позволяет обеспечить термическую дегазацию воды при атмосферном давлении.

Вакуумные деаэраторы имеют преимущества для подготовки воды, отпускаемой на цели горячего водоснабжения, так как в этом случае не требуется охлаждение деаэрированной воды до 65–70 °С и усложнения схемы котельной. Кроме того, применение вакуумных деаэраторов для подпитки тепловых сетей исключает потери конденсата, подаваемого на деаэрацию при применении для этих целей деаэраторов атмосферного типа.

По этим причинам применение вакуумных деаэраторов в котельных как с водогрейными котлами весьма перспективно, но оно может быть осуществлено только при условии разработки такой конструкции деаэраторов, которая обеспечит необходимое качество дегазации исходной воды при достаточной простоте и надежности эксплуатации.

До сих пор в практике строительства котельных установок применялся ряд конструкций вакуумных деаэраторов, но ни одна из них полностью не отвечает требованиям, предъявляемым к качеству дегазации питательной и подпиточной воды. Этим и объясняется сравнительно редкое применение этих деаэраторов – только в котельных с водогрейными котлами или в тепловых пунктах, где отсутствует пар.

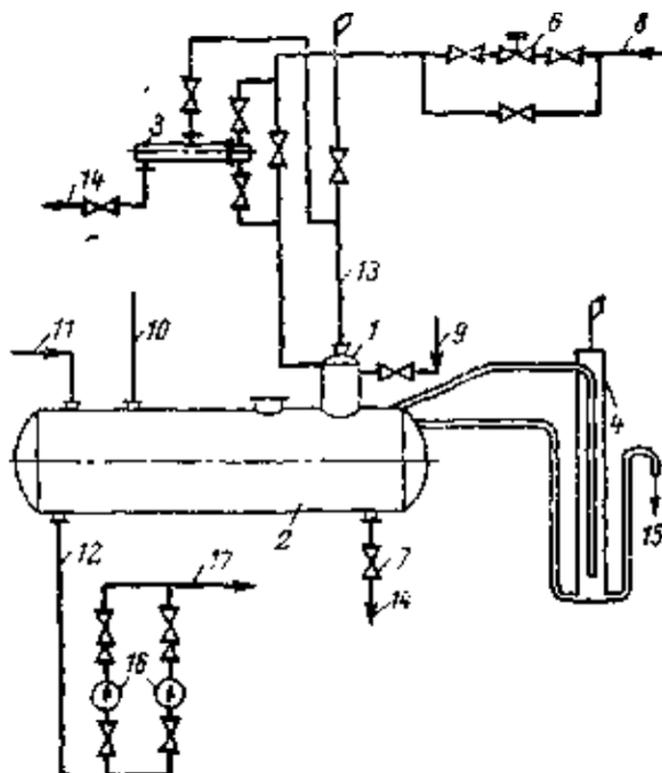


Рис. 5.5. Принципиальная схема деаэрационнопитательной установки с атмосферным деаэратором: 1 – деаэрационная колонка; 2 – бак-аккумулятор; 3 – охладитель выпара; 4 – гидрозатвор; 5 – регулятор давления; 6 – регулятор уровня; 7 – вентиль для слива; 8 – подвод умягченной воды; 9 – подвод конденсата; 10 – подвод барботирующего пара; 11 – подвод пара давлением 0,12–0,13 МПа; 12 – отвод деаэрированной воды; 13 – отвод парогазовой смеси; 14 – сброс в дренаж; 15 – перелив через гидрозатвор; 16 – питательные насосы; 17 – подача питательной воды к котлам.

Деаэрация воды в вакуумных деаэраторах может осуществляться: *в режиме перегретой воды*, когда температура воды, поступающей в деаэратор, выше температуры насыщения, соответствующей давлению в деаэраторе. Вода в деаэраторе вскипает без дополнительного подвода теплоты. Условно эти деаэраторы называют *изотермическими*; *в режиме недогретой воды*, когда температура воды, поступающей в деаэратор, ниже температуры насыщения, соответствующей давлению в деаэраторе. Для подогрева воды до температуры насыщения в деаэратор должна подаваться высокотемпературная вода.

Вакуумные деаэраторы, работающие в режиме недогретой воды, называют *термическими вакуумными деаэраторами*.

Изотермические вакуумные деаэраторы находят применение в основном в установках для подготовки воды для систем горячего водоснабжения на тепловых пунктах, где отсутствует греющий агент, необходимый для работы термических вакуумных деаэраторов.

В котельных установках рекомендуется применение термических вакуумных деаэраторов, обеспечивающих лучшее качество дегазации воды.

На деаэраторы производительностью от 5 до 300 т/ч. в ЦКТИ был разработан технический проект серии вакуумных барботажных деаэраторов типа (ДСВ-5, ДСВ-15, ДСВ-25, ДСВ-50, ДСВ-75, ДСВ-100, ДСВ-150, ДСВ-200, ДСВ-300). Комплектация деаэраторов типа ДСВ представлена в табл. 5.5.

**Комплектация вакуумных деаэраторов вспомогательными устройствами**

| Тип деаэратора | Тип эжектора  |   | Тип охладителя выпара |
|----------------|---|---|-----------------------|
|                | паровой   | водяной   |                       |
| ДСВ-5          | ЭП-1-0,2-5-12<br>ЭП-2-0,05-5-6<br>ЭП-2-0,05-5-12                    | ЭВ-10( $P_{вс}-0,2$ )<br>ЭВ-30( $P_{вс}-0,06$ )     | ОВВ-2                 |
| ДСВ-15         | ЭП-1-0,2-5-12<br>ЭП-2-0,05-5-6<br>ЭП-2-0,05-5-12                    | ЭВ-10( $P_{вс}-0,2$ )<br>ЭВ-60( $P_{вс}-0,06$ )     | ОВВ-2                 |
| ДСВ-25         | ЭП-1-0,2-5-12<br>ЭП-2-0,05-5-6<br>ЭП-2-0,05-5-12                    | ЭВ-30( $P_{вс}-0,2$ )<br>ЭВ-60( $P_{вс}-0,06$ )     | ОВВ-2                 |
| ДСВ-50         | ЭП-1-0,2-5-12<br>ЭП-2-0,05-5-6<br>ЭП-2-0,05-5-12                    | ЭВ-30( $P_{вс}-0,2$ )<br>ЭВ-60( $P_{вс}-0,06$ )     | ОВВ-8                 |
| ДСВ-75         | ЭП-2-0,2-10-6<br>ЭП-2-0,2-10-12<br>ЭП-1-0,2-10-12<br>ЭП-2-0,05-10-6 | ЭВ-60( $P_{вс}-0,2$ )<br>ЭВ-100( $P_{вс}-0,06$ )    | ОВВ-8                 |
| ДСВ-100        | ЭП-2-0,2-10-6<br>ЭП-2-0,2-10-12<br>ЭП-1-0,2-10-12<br>ЭП-2-0,05-10-6 | ЭВ-60( $P_{вс}-0,2$ )<br>ЭВ-220 ( $P_{вс}-0,06$ )   | ОВВ-8                 |
| ДСВ-150        | ЭП-2-0,2-20-6<br>ЭП-2-0,2-20-12                                     | ЭВ-100( $P_{вс}-0,2$ )<br>ЭВ-220 ( $P_{вс}-0,06$ )  | ОВВ-16                |
| ДСВ-200        | ЭП-2-0,2-20-6<br>ЭП-2-0,2-20-12                                     | ЭВ-100( $P_{вс}-0,2$ )<br>ЭВ-220 ( $P_{вс}-0,06$ )  | ОВВ-16                |
| ДСВ-300        | ЭП-2-0,2-40-6<br>ЭП-2-0,2-40-12                                     | ЭВ-220 ( $P_{вс}-0,2$ )<br>ЭВ-340 ( $P_{вс}-0,06$ ) | ОВВ-24                |

*Поверхностный охладитель выпара* рекомендуется устанавливать непосредственно над колонкой вакуумного деаэратора. При этом все соединения следует выполнять на сварке, исключаяющей подсосы воздуха.

*Газоотсасывающие устройства.* В качестве газоотсасывающих устройств для вакуумных деаэраторов применяться водоструйные эжекторы (для водогрейных котельных).

Для вакуумных деаэраторов, работающих при абсолютном давлении 0,02–0,03 МПа, могут устанавливаться одноступенчатые водоструйные эжекторы; для деаэраторов, работающих при давлении 0,0075 МПа, необходимо применять двух- и трехступенчатые эжекторы.

При расчете газоотсасывающих устройств вакуумных деаэраторов принимают расход отсасываемых неконденсирующихся газов из расчета 60 г газов на 1 т деаэрированной воды.

На рис. 5.6 приведена принципиальная схема водоструйного эжектора конструкции ЦКТИ. К цилиндрическому соплу эжектора 3 подводится рабочая вода. Паровоздушная смесь подсасывается через патрубок 1 во входную камеру 5. К патрубку 1 примыкает камера смешения 4 с окнами 2. Паровоздушная смесь поступает через окна 2 и конденсируется по-

дающей из сопла рабочей водой.

Для водоструйных эжекторов требуется рабочая вода давлением не менее 0,2 МПа и температурой не выше 30 °С.

Широкое распространение получила замкнутая схема включения водоструйных эжекторов, приведенная на рис. 5.7.

В этой схеме подача рабочей воды к эжекторам осуществляется отдельными насосами 1. После отсоса и конденсации паровоздушной смеси рабочая вода возвращается в приемный бак 6 и опять включается в рециркуляцию. Для исключения перегрева рабочей воды в бак подается холодная вода 2.

При вертикальном расположении эжектора давление за ним в основном определяется высотой установки эжектора над уровнем воды в приемном баке. Уменьшение давления в сливной трубе за эжектором при прочих равных условиях приводит к уменьшению давления на всасе эжектора и увеличению его производительности.

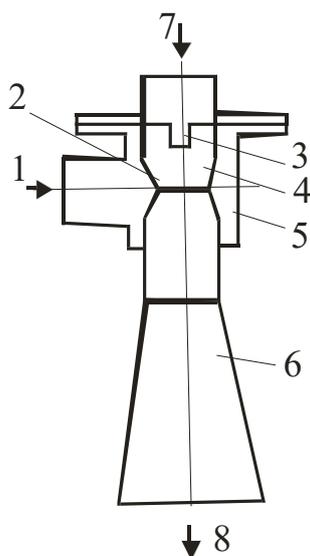


Рис. 5.6. Принципиальная схема водоструйного эжектора системы ЦКТИ:

1 – подвод паровоздушной смеси; 2 – окна; 3 – цилиндрическое сопло; 4 – камера смешения; 5 – входная камера; 6 – диффузор; 7 – подвод рабочей воды; 8 – отвод водогазовой смеси

*Схемы включения вакуумных деаэраторов.* ЦКТИ были предложены схемы применения вакуумных барботажных деаэраторов. Однако распространения эти схемы не получили, особенно в паровых котельных.

В настоящее время вакуумные деаэраторы применяются в проектах отопительных котельных с водогрейными котлами, в которых нет пара, необходимого для работы деаэраторов атмосферного типа.

В то же время применение в упомянутых котельных схемы с постоянной температурой воды на выходе из котлов 150 °С делает особенно перспективной применение вакуумных деаэраторов в этих котельных.

*Схема включения вакуумного деаэратора в систему подпитки водогрейных котлов и сетевой воды для тепловых сетей.* Наиболее эффективно применение вакуумных деаэраторов в отопительных котельных, когда средняя температура потоков умягченной воды не превышает 30–50 °С.

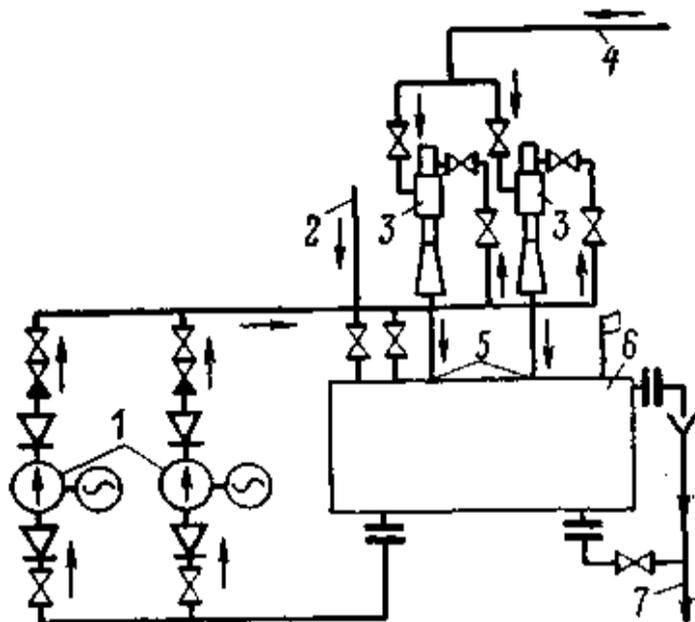


Рис. 5.7. Замкнутая схема включения водоструйных эжекторов:

1 – циркуляционные насосы; 2 – подвод охлаждающей воды; 3 – водоструйные эжекторы; 4 – отсос парогазовой смеси; 5 – сброс водогазовой смеси; 6 – приемный бак; 7 – сброс нагретой воды

Умягченная вода с температурой около  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  подается на верхнюю тарелку деаэрата-ра и частично в охладитель выпара. В схеме включения вакуумных деаэраторов особенно важна роль охладителя выпара, который необходим не только для использования тепла выпара, но также для уменьшения объемов парогазовой смеси, отсасываемой из деаэрата. В связи с этим расход воды на охладитель выпара должен быть отрегулирован в соответствии с расчетной производительностью деаэрата (см. рис. 5.8).

Перегретая вода подается в деаэратор под барботажный лист. Расход греющей воды должен обеспечить подогрев воды в деаэраторе до температуры насыщения. Деаэриро-ванная вода самотеком поступает в бак-аккумулятор.

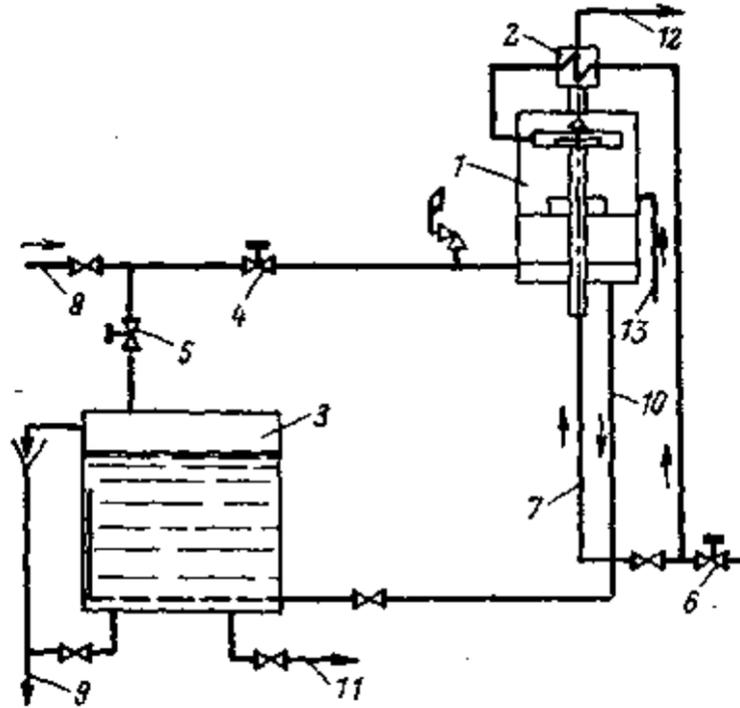


Рис. 5.8. Принципиальная схема деаэрационно-питательной установки с вакуумным деаэратором:

1 – деаэратор; 2 – охладитель выпара; 3 – бак-аккумулятор; 4 – регулятор подачи перегретой воды; 5 – регулятор давления в баке-аккумуляторе; 6 – регулятор подачи умягченной воды; 7 – подвод умягченной воды; 8 – подвод перегретой воды; 9 – дренаж; 10 – отвод деаэрированной воды; 11 – подача воды к питательным насосам; 12 – отсос паровоздушной смеси

Для предотвращения вторичной загазованности деаэрированной воды деаэрационная колонка устанавливается на высоте 8 м от верхнего уровня воды в баке-аккумуляторе, при этом не допускаются фланцевые соединения в зоне разрежения.

В баке-аккумуляторе над уровнем воды предусматривается паровая подушка за счет подачи перегретой воды, расход которой регулируют, исходя из обеспечения незначительного избыточного давления.

*Деаэратор двойного назначения «Экотех».* Для решения задачи защиты сетей и оборудования от кислородного разрушения промышленной группой «Прессмаш-Экотех-99» г. Челябинска разработаны эффективные, не имеющие аналогов деаэрационно-питательная система – деаэратор двойного назначения «Экотех», обеспечивающий одновременно глубокую деаэрацию (удаление кислорода из воды с 8000 мг/кг до 10–20 мкг/кг) и выработку обессоленной воды, соответствующей требованиям для подпиточной воды котлов отопительных котельных. Деаэратор обеспечивает стабильность качества деаэрированной воды и снижает коррозию теплосетей и оборудования.

*Двухкамерные деаэраторы «Экотех».* Известно, что эффективность деаэрации возрастает по мере увеличения удельного выпара. В однокамерных деаэраторах, к которым относятся серийные аппараты, при отсутствии дополнительного охлаждающего потока в охладителе выпара указанная величина имеет незначительную величину. Вследствие этого эффективность серийных деаэраторов на режимах, отличающихся от номинальных, существенно снижается.

Применение многокамерных, в частности двухкамерных деаэраторов «Экотех», поз-

воляет устранить указанный недостаток и тем самым существенно повысить качество деаэрации воды в широком диапазоне тепловых и гидравлических нагрузок. Технологическая схема деаэрации воды в двухкамерном аппарате включает следующие процедуры:

- в первой камере осуществляется нагрев воды до температуры насыщения и барботирование с удельным выпаром от 3 до 7 кг/т, причем вынос пара производится во вторую камеру;
- во второй камере осуществляется адиабатное вскипание деаэрируемой воды и конденсация основной части выделившегося пара с тем, чтобы его оставшаяся часть соответствовала производительности газоотсасывающего эжектора.

Конструктивно двухкамерный деаэратор «Экотех» размещен в вертикальном цилиндрическом корпусе высотой 4–5 м и диаметром 1–3 м в зависимости от требуемой производительности. Размещение вспомогательного оборудования и подключение двухкамерного деаэратора к тепловым установкам выполняется по традиционным схемам.

В качестве теплоносителя используется горячая вода (допускается использование прямой сетевой воды с температурой 70–120 °С). После завершения режимно-наладочных работ настройка эксплуатационных режимов заключается в поддержании требуемого режимной картой нагрева воды в деаэраторе путем корректировки расхода теплоносителя.

В последнее время появились малогабаритные щелевые вакуумные деаэраторы, производимые НПК «Экология». Характеристика дана в табл. 5.6.

Таблица 5.6

#### Характеристика щелевых вакуумных деаэраторов

| Марка   | Производительность, м <sup>3</sup> /ч | Рабочее давление, МПа | Температура среды, °С | Эжектор водоструйный | Габаритные размеры, длина x ширина x высота, мм | Масса, кг |
|---------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---|-----------|
| ДЩВ-0,5 | 0,5                                   | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-0,25             | 845x250x110                                     | 15        |
| ДЩВ-1   | 1                                     | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-0,5              | 845x250x110                                     | 15        |
| ДЩВ-3   | 3                                     | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-1,5              | 845x250x110                                     | 15        |
| ДЩВ-5   | 5                                     | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-2,5              | 845x250x110                                     | 20        |
| ДЩВ-10  | 10                                    | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-5                | 845x350x110                                     | 30        |
| ДЩВ-15  | 15                                    | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-7,5              | 845x380x250                                     | 40        |
| ДЩВ-25  | 25                                    | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-12               | 845x380x250                                     | 48        |
| ДЩВ-50  | 50                                    | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-25               | 845x700x300                                     | 100       |
| ДЩВ-75  | 75                                    | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-37,5             | 845x700x420                                     | 130       |
| ДЩВ-100 | 100                                   | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-50               | 845x700x550                                     | 155       |
| ДЩВ-150 | 150                                   | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-75               | 1340x700x820                                    | 190       |
| ДЩВ-200 | 200                                   | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-100              | 1340x1500x670                                   | 260       |
| ДЩВ-300 | 300                                   | 0,1-0,3               | 55-80                 | ЭВС-150              | 1340x1500x540                                   | 370       |

*Вопросы для самопроверки*

1. Назначение деаэрации.
2. Принципы работы химической деаэрации
3. Принципы работы термической деаэрации
4. Атмосферная деаэрация
5. Конструкция деаэратора атмосферного типа
6. Назначение барботажного устройства
7. Схема обвязки деаэратора атмосферного типа
8. Деаэраторы вакуумного типа. Принцип их работы
9. Конструкция вакуумного деаэратора
10. Схема обвязки вакуумного деаэратора
11. Как предотвратить вторичную загазованность?
12. Назначение охладителя выпара
13. Газоотсасывающие устройства
14. Современные малогабаритные деаэрационные установки

## **6. Требования к размещению оборудования водоподготовки**

### **6.1. План размещения оборудования**

В зависимости от выбранной схемы водообработки, мощности котельной и ее типа (полуоткрытая или закрытая) принимается та или иная схема расположения оборудования в помещении котельной. Это размещение оборудования называется компоновкой. Критерием качества размещения оборудования служат минимальный объем, занимаемый оборудованием, минимальная длина трубопроводов, возможность надежно и эффективно обслуживать оборудование. При этом необходимо помнить о том, что ширина минимального прохода между оборудованием, а также между оборудованием и стеной должна быть не менее 0,8 м. Если имеются элементы оборудования, расположенные на высоте более 2 м, требующие обслуживания, необходимо предусматривать специальные площадки с лестницами. Ширина лестниц – 0,6 м, угол наклона 50 °, ширина площадок – 0,6-0,8 м. При длине площадки более 4 м она должна иметь два входа с противоположных сторон.

Сливы от фильтров и другого оборудования водоподготовки собираются в специальный железобетонный канал, который сверху перекрывается металлическим листом из рифленого железа.

При мокром хранении соли (NaCl) предусматривается устройство заглубленных железобетонных бункеров. При емкости до 8 м<sup>3</sup> они изготавливаются из двух ячеек, полузаглубленных и примыкающих к наружной стене котельной.

Для создания больших запасов соли на крупных котельных предусматривается устройство отдельностоящих складов реагентов.

Компоновка оборудования водоподготовки должна предусматривать возможность ее расширения при увеличении мощности самой котельной и в других случаях.

Объем и характеристика оборудования, предназначенного к установке, определяется экспликацией (табл. 6.1).

## Экспликация оборудования водообработки (для примера 1)

| № п/п | Наименование   | Техническая характеристика   | Количество | Завод-изготовитель                        |
|-------|--|--|------------|---|
| 1     | Насосы “сырой” воды К45/30 с электродвигателем АИР100L2                                  | $G = 25-45 \text{ м}^3/\text{ч}$ , $H = 0,24 - 0,13 \text{ МПа}$ , $N_{\text{ЭЛ}} = 5,5 \text{ кВт}$         | 2          | Ереванский насосный завод                 |
| 2     | Пароводяной подогреватель “сырой” воды БиКЗ  | $F = 4,0 \text{ м}^2$  | 1          | Бийский котельный завод                   |
| 3     | Регулятор уровня в бункере мокрого хранения соли   | Поплавковый  | 1          | -   |
| 4     | Бункер мокрого хранения соли   | $V_{\text{БУН}} = 3 \text{ м}^3$<br>(1,75x0,90x1,0) x 2<br>Запас на 10 сут                                   | 1          | Нестандартное оборудование железобетонное |
| 5     | Фильтр соли (солерастворитель) В-7075/С  | $D = 480 \text{ мм}$   | 1          | Саратовский завод “Энергомашстрой”        |
| 6     | Бак-мерник регенерационного раствора соли  | $V_{\text{БМ}} = 250 \text{ дм}^3$ ,<br>$D = 600 \text{ мм}$   | 1          | Череповецкий завод “Эмаль-посуда”         |
| 7     | Химический насос регенерационного раствора соли Х50-32-125 Д с электродвигателем АИР90L2 | $G = 6 - 14 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,<br>$H = 0,20 - 0,14 \text{ МПа}$ ,<br>$N_{\text{ЭЛ}} = 3,0 \text{ кВт}$  | 2          | -   |
| 8     | На-катионитовые фильтры I ступени  | $D = 15 \text{ м}$<br>$H_{\text{СЛ}} = 2,0 \text{ м}$  | 2          | БиКЗ                                      |
| 9     | На-катионитовые фильтры II ступени   | $D = 0,7 \text{ м}$ ,<br>$H_{\text{СЛ}} = 2,0 \text{ м}$   | 2          | БиКЗ                                      |
| 10    | Химический насос взрыхляющей промывки Х65-50-125 Д с электродвигателем АИР100S2          | $G = 14 - 32 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,<br>$H = 0,20 - 0,13 \text{ МПа}$ ,<br>$N_{\text{ЭЛ}} = 4,0 \text{ кВт}$ | 1          | -   |
| 11    | Бак отмывочной воды  | $V_{\text{Б ОТ}} = 6,8 \text{ м}^3$<br>(2,5 x 1,7 x 1,7) м   | 1          | Нестандартное оборудование                |

## 6.2. Химический контроль в котельных

Химический контроль за качеством сетевой и подпиточной воды в котельных должен обеспечить надежную и экономичную эксплуатацию всех аппаратов и элементов тепловой схемы энергетической установки, и в первую очередь самих котельных агрегатов.

Химический контроль состоит из текущего оперативного контроля за всеми стадиями подготовки подпиточной воды, включая процесс ее деаэрации, и за водно-химическим режимом тепловой сети, а также из углубленного периодического контроля за всеми типами вод с целью фиксации фактического режима энергетической установки в целом.

## Объем аналитического химического контроля

| Поток воды<br>или точка<br>отбора пробы  | Прозрачность | Щелочность общая и по<br>фенолфталеину |   | Жесткость общая | Хлориды | Солесодержание | Кислород | Железо | Значение рН | Окисляемость перманганатная | Сульфаты | Жесткость карбонатная | Условная сульфатно-кальциевая<br>жесткость | Карбонатная щелочность | Нефтепродукты |
|--|--------------|--|---|-----------------|---------|----------------|----------|--------|-------------|-----------------------------|----------|-----------------------|--|------------------------|---------------|
|  |              |  |   |                 |         |                |          |        |             |                             |          |                       |  |                        |               |
| Теплопроизводительность котла < 35 МВт   |              |  |   |                 |         |                |          |        |             |                             |          |                       |  |                        |               |
| Исходная                                 | М            | М                                      | М | М               | —       | —              | М        | М      | М           | М                           | М        | М                     | М  | М                      | Н             |
| Осветленная                              | 1            | 1                                      | 1 | —               | —       | —              | —        | —      | —           | —                           | —        | —                     | —  | —                      | —             |
| Химически<br>обработанная                | 1            | 1                                      | 1 | М               | —       | —              | М        | М      | —           | М                           | М        | М                     | М  | М                      | —             |
| После<br>деаэратора                      | —            | —                                      | — | —               | —       | Н              | М        | М      | —           | —                           | —        | —                     | —  | —                      | —             |
| После<br>подпиточного<br>насоса          | —            | 1                                      | 1 | —               | —       | 1              | М        | М      | —           | М                           | М        | М                     | М  | М                      | Н             |
| Сетевая вода<br>после сетевого<br>насоса | 1            | 1                                      | 1 | —               | —       | М              | М        | М      | —           | М                           | М        | М                     | М  | М                      | Н             |
| Теплопроизводительность котла ≥ 35 МВт   |              |  |   |                 |         |                |          |        |             |                             |          |                       |  |                        |               |
| Исходная                                 | М            | М                                      | М | М               | М       | —              | М        | М      | М           | М                           | М        | М                     | М  | М                      | Н             |
| Осветленная                              | 3            | 3                                      | 3 | —               | —       | —              | Н        | —      | —           | —                           | —        | —                     | —  | —                      | —             |
| Химически<br>обработанная                | 3            | 3                                      | 3 | Н               | М       | —              | Н        | Н      | —           | М                           | Н        | М                     | Н  | Н                      | —             |
| После<br>деаэратора                      | —            | —                                      | — | —               | —       | 1              | Н        | И      | —           | —                           | —        | —                     | —  | —                      | —             |
| После<br>подпиточного<br>насоса          | 1            | 1                                      | 1 | Н               | —       | 3              | Н        | Н      | —           | М                           | Н        | М                     | Н  | Н                      | Н             |
| Сетевая вода<br>после сетевого<br>насоса | 1            | 1                                      | 1 | Н               | —       | 1              | Н        | Н      | М           | М                           | 1        | М                     | Н  | Н                      | Н             |

Примечания:

1. Обозначения: 1 и 3 — соответственно один и три раза в сутки; Н — один раз в неделю; М — один раз в месяц.

2. Объем контроля приведен для энергоустановок, в которых подпиточная вода получается из исходной воды артезианского происхождения по схеме: фильтрация — натрий-катионирование — термическая деаэрация в аппаратах атмосферного типа. При других схемах или фазах водоподготовки, а также для энергоустановок, в которых исходная вода получается из поверхностных водоисточников, объем контроля по заключению головной ведомственной энергетической организации может увеличиваться.

3. Санитарный бактериологический анализ подпиточной и сетевой воды для систем с открытым водоразбором производится районной СЭС по установленному ею графику.

Объем химического контроля зависит, в основном, от схемы обработки воды и типа котла. Анализы выполняются лаборантами химической лаборатории или аппаратчиками. В табл. 6.2 указан объем полного анализа воды, проведение которого по всем показателям производится центральной химической лабораторией или лабораторией котельной. Для удобства обслуживания рекомендуется пробоотборные точки от фильтров, осветлителей, питательной и подпиточной воды после деаэраторов и обратной сетевой воды выводить на лабораторный щит.

Полный анализ исходной воды (см. табл. 6.3) осуществляется для артезианских вод 1-2 раза в год (независимо от времени года), для поверхностных вод - ежемесячно.

Периодичность отбора проб зависит от колебаний контролируемого показателя качества воды, устойчивости режима водообработки и типа котла, а также от освоенности оборудования. Более частые сборы проб выполняются при неустойчивом качестве исходной воды (особенно в паводок), изменяющейся производительности водоподготовительных установок и неудовлетворительной работе дозаторов реагентов.

Необходимость определения всех показателей устанавливается наладочной организацией или химической службой при пуске и уточняется в процессе эксплуатации.

Химический контроль котельных сводится к следующему:

- а) выявлению состояния водоподготовительного оборудования и котлоагрегатов на коррозию, выделение шлама и накипь;
- б) анализу качества отобранных проб воды, пара, отложений, растворов реагентов и пр.;
- в) выявлению и устранению дефектов в работе водоподготовительного оборудования и усовершенствованию технологических процессов водоподготовки;
- г) выявлению и устранению дефектов в работе котлов, связанных с качеством воды, не отвечающей нормам.

С увеличением паропроизводительности котла, давления пара и тепловых напряжений поверхностей нагрева повышается опасность коррозии и накипеобразования, в связи с чем растут и требования, предъявляемые к водно-химическому режиму и контролю за ним. Правильный и своевременный оперативный контроль позволяет заметить возникающие отклонения водного режима от установленных норм и устранить выявленные дефекты.

Текущий оперативный контроль (экспресс-контроль) дает возможность определить, соответствует ли в данный момент качество воды на том или ином участке норме и велики ли отклонения. Более подробные анализы эпизодически отбираемых проб позволяют дать всестороннюю и глубокую оценку ее состава.

## Перечень анализа химического контроля

| № п/п | Наименование показателя  | Метод определения  |
|-------|--|--|
| 1     | Жесткость общая  | Объемный (титрованием), колориметрический                              |
| 2     | Щелочность общая (по метилоранжу)  | Объемный (титрованием)   |
| 3     | Реакция pH   | Индикаторный; визуально-колориметрический и электрометрический         |
| 4     | Кислород (O <sub>2</sub> )   | Объемный (титрованием), колориметрический                              |
| 5     | Солесодержание   | По солемеру, по кондуктометру  |
| 6     | Свободная углекислота (CO <sub>2</sub> )   | Объемный (титрованием)   |
| 7     | Хлор-ион (Cl)  | Объемный: колориметрический, нефелометрический                         |
| 8     | Прозрачность   | Визуальный (по шрифту, кольцу, кресту), нефелометрический              |
| 9     | Содержание шлама   | Весовой  |
| 10    | Концентрация реагента в растворе (NaCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub> , FeSO <sub>4</sub> , FeCl, Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ) | Объемный (титрованием) по ареометру                                    |
| 11    | Влажность пара   | По кондуктометру   |
| 12    | Фосфат-ион (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )  | Объемный (титрованием), колориметрический                              |
| 13    | Сульфат-ион (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )   | Объемный (титрованием): весовой, колориметрический                     |
| 14    | Кальций (Ca <sup>2+</sup> )  | Объемный (титрованием)   |
| 15    | Щелочность гидратная (по фенолфталеину)  | Объемный (титрованием)   |
| 16    | Окислы железа  | Объемный (титрование с накоплением на целлюлозном фильтре), упрощенный |

Объем полного анализа исходной воды

| № п/п | Наименование показателя                   | Единица измерения | Метод определения  | Примечание                       |
|-------|---|-------------------|--|----------------------------------|
| 1     | Прозрачность                              | см                | Визуальный (по шрифту, кресту, кольцу)                           |                                  |
| 2     | Запах                                     |                   | Качественно  |                                  |
| 3     | Взвешенные вещества                       | мг/кг             | Фильтрованием (весовой)  | При прозрачности менее 10 см     |
| 4     | Реакция рН                                |                   | Визуально-колориметрический                                      |                                  |
| 5     | Щелочность                                | мг-экв/кг         | Объемный (титрованием)   |                                  |
| 6     | Жесткость общая                           | То же             | То же  |                                  |
| 7     | Жесткость карбонатная                     | “                 | “  |                                  |
| 8     | Сухой остаток                             | мг/кг             | Выпариванием (весовой)   |                                  |
| 9     | Кальций ( $Ca^{2+}$ )                     | То же             | Объемный (титрованием), колориметрический                        |                                  |
| 10    | Магний ( $Mg^{2+}$ )                      | “                 | По разности $Ж_О - Ж_{CO}$                                       |                                  |
| 11    | Полуторные окислы ( $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ ) | “                 | Весовой  |                                  |
| 12    | Железо закисное ( $Fe^{2+}$ )             | “                 | Колориметрический  | Определяется в артезианской воде |
| 13    | Аммоний ( $NH_4^+$ )                      | “                 | Объемный   |                                  |
| 14    | Натрий ( $Na^+$ )                         | “                 | Расчетный (по разности анионов и катионов), пламефотометрический |                                  |
| 15    | Хлориды ( $Cl^-$ )                        | “                 | Объемный (титрованием), колориметрический                        |                                  |

### 6.3. Требования к химической лаборатории

Результаты расчета и данные анализов дают полное представление о типе системы водообработки, режимах ее работы, расходах воды, пара, конденсата, реагентов, о наличии отложений. Для производства анализов сточных вод от химоводоочисток, обмывочных вод хвостовых поверхностей нагрева котлов, вод от кислотных промывок котлов, а также анализов топлива, масел и исследования структуры металлов предлагается кооперирование с центральной лабораторией завода, в состав которого входит котельная, или с другими специализированными организациями.

Химическая лаборатория в котельной осуществляет контроль и руководство работой водоподготовительной установки и контролирует водно-химический режим котельной.

Строительную часть химической лаборатории следует проектировать исходя из строительных норм на проектирование химических лабораторий. При проектировании необходимо учитывать, что химическую лабораторию предпочтительно располагать на нулевой отметке рядом с водоподготовкой, желательно на северной стороне во избежание выцветания реактивов и индикаторов.

Для нормальной работы аналитических весов и приборов (соломеры, фотоколориметры и другие) помещение лаборатории не должно подвергаться вибрациям и в него не должны

проникать пыль и газы из производственных помещений. Необходимо оборудовать химическую лабораторию общей приточно-вытяжной вентиляцией. Приточная вентиляция должна иметь устройство по обеспыливанию и терморегуляции воздуха. Температура воздуха в помещении лабoра тории должна быть в пределах 18–22 °С. Кроме общей приточно-вытяжной вентиляции, следует предусматривать местный отсос у вытяжных шкафов.

Лаборатория должна быть оборудована общим освещением, обеспечивающим производство точных работ, и иметь возможность подключения силовой нагрузки.

К лабораторным столам, мойкам и раковинам должна подводиться горячая и холодная вода. При возможности желательно в лабораторию подвести пар низкого давления для получения из него конденсата.

#### **6.4. Оборудование химической лаборатории и его размещение**

Химическая лаборатория выполняет функции оперативного химического контроля по различным показателям воды.

Слив отработанной воды и реагентов от раковин моек, шкафов и лабораторных столов ввиду их малых количеств допускается осуществлять в фекальную канализацию.

Места подвода воды и отвода стоков в канализацию указываются на компоновке оборудования.

Для производства различных анализов к вытяжным шкафам и к лабораторным столам необходимо подводить газ под давлением 1,3 кПа. Для данного типа лаборатории площадь аналитической комнаты должна быть не менее 24 м<sup>2</sup>, а весовую комнату желательно размещать в помещении без световых проемов. Высота помещений лаборатории должна быть не менее 3 м.

##### *Вопросы для самопроверки*

1. Перечень основного оборудования водоподготовки.
2. Требования к размещению оборудования водоподготовки.
3. Перечень анализа химического контроля котельных.
4. Требования к размещению оборудования химической лаборатории в котельной.

## 7. Примеры выполнения расчетов выбора оборудования водоподготовки паровых котельных

### 7.1. Задание для выбора и расчеты оборудования водоподготовки

Основная исходная информация приведена в общем задании на практическую работу. Номер варианта принимается по рекомендации преподавателя. Основным способом докотловой обработки принято двухступенчатое Na-катионирование.

Для наглядности и проверки алгоритма расчета в настоящей работе приводятся два примера расчета. Первый предусматривает расчет двухступенчатой Na-катионитовой установки для открытой системы теплоснабжения в котельной, оборудованной котлами типа ДЕ, при сжигании мазута. Второй пример – паровая котельная с котлами типа ДЕ, ДКВР, с закрытой системой теплоснабжения, двухступенчатой Na-Cl-ионитовой обработкой исходной воды.

В результате проведенного расчета по выбору схемы обработки питательной воды имеем для примера №1 - двухступенчатое Na-катионирование с дегазацией (см. рис. 2.13) в атмосферном деаэраторе типа ДА без барботажного устройства (в расчете установлен соответствующий показатель и используется формула (2.51). При наличии барботажа используется формула (2.52).

Кроме того, для обоих примеров необходимо предусматривать непрерывную продувку с установкой только расширителя (сепаратора), так как  $0,5 < G_{пр} < 1,0$  т/ч. В случае, если  $G_{пр} < 0,5$  т/ч, непрерывную продувку предусматривать экономически нецелесообразно. При  $G_{пр} > 1,0$  т/ч, кроме расширителя, в схеме рекомендуется предусматривать охладитель продувочной воды.

Для примера № 2 необходимо применить схему, снижающую относительную щелочность котловой воды. Принята схема Na-Cl-ионирование, где I ступень обработки – Na-катионирование, II ступень – Na-Cl-ионирование, т.е. в фильтры одновременно загружаются катионит и анионит.

**Задание №1 на выполнение упрощенного варианта выбора оборудования водоподготовки (ХВО)**

| Номер варианта | Общая жесткость исходной воды, Жо, мг- | Давление пара, МПа | Температура питательной воды, °С | Доля возврата конденсата с производства | Величина непрерывной пролувки, % | Расчетная производительность, т/ч |                           |                       |                            |                             | Тип системы теплоснабжения | Параметры сетевой воды: |
|----------------|--|--------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
|                |  |                    |                                  |   |                                  | -на горячее водоснабжение         | -на технологические нужды | -на собственные нужды | -на отопление и вентиляцию | Суммарная тепловая нагрузка |                            |                         |
| 1              | 1                                      | 1                  | 70                               | 0,1                                     | 3                                | 1                                 | 12                        | 2                     | 10                         | 25                          | открытая                   | 150/70                  |
| 2              | 1,2                                    | 1,1                | 70                               | 0,2                                     | 4                                | 2                                 | 10                        | 3                     | 15                         | 30                          |                            | 150/70                  |
| 3              | 1,4                                    | 1,2                | 70                               | 0,3                                     | 5                                | 3                                 | 8                         | 4                     | 20                         | 35                          |                            | 150/70                  |
| 4              | 1,6                                    | 1,3                | 70                               | 0,4                                     | 6                                | 4                                 | 6                         | 5                     | 25                         | 40                          |                            | 150/70                  |
| 5              | 1,8                                    | 1,4                | 70                               | 0,5                                     | 7                                | 5                                 | 4                         | 6                     | 30                         | 45                          |                            | 150/70                  |
| 6              | 2                                      | 1,3                | 70                               | 0,6                                     | 6                                | 5                                 | 4                         | 6                     | 35                         | 50                          | закрыва                    | 150/70                  |
| 7              | 2,2                                    | 1,2                | 100                              | 0,7                                     | 5                                | 5                                 | 19                        | 6                     | 40                         | 70                          |                            | 150/70                  |
| 8              | 2,4                                    | 1,1                | 100                              | 0,8                                     | 4                                | 5                                 | 29                        | 6                     | 35                         | 75                          |                            | 150/70                  |
| 9              | 2,6                                    | 1,2                | 100                              | 0,9                                     | 3                                | 5                                 | 34                        | 6                     | 30                         | 75                          |                            | 150/70                  |
| 10             | 2,8                                    | 1,3                | 100                              | 1                                       | 3                                | 6                                 | 39                        | 5                     | 25                         | 75                          |                            | 150/70                  |
| 11             | 3                                      | 1                  | 70                               | 0,1                                     | 3                                | 3                                 | 8                         | 4                     | 20                         | 35                          | открытая                   | 150/70                  |
| 12             | 1                                      | 1,1                | 70                               | 0,2                                     | 4                                | 5                                 | 4                         | 6                     | 30                         | 45                          |                            | 150/70                  |
| 13             | 1,2                                    | 1,2                | 70                               | 0,3                                     | 5                                | 2                                 | 10                        | 3                     | 15                         | 30                          |                            | 150/70                  |
| 14             | 1,4                                    | 1,3                | 70                               | 0,4                                     | 6                                | 4                                 | 6                         | 5                     | 25                         | 40                          |                            | 150/70                  |
| 15             | 1,6                                    | 1,4                | 70                               | 0,5                                     | 7                                | 5                                 | 4                         | 6                     | 30                         | 45                          |                            | 150/70                  |
| 16             | 1,8                                    | 1,3                | 70                               | 0,6                                     | 6                                | 5                                 | 4                         | 6                     | 35                         | 50                          | закрыва                    | 150/70                  |
| 17             | 2                                      | 1,2                | 100                              | 0,7                                     | 5                                | 5                                 | 19                        | 6                     | 40                         | 70                          |                            | 150/70                  |
| 18             | 2,2                                    | 1,1                | 100                              | 0,8                                     | 4                                | 5                                 | 29                        | 6                     | 35                         | 75                          |                            | 150/70                  |
| 19             | 2,4                                    | 1,2                | 100                              | 0,9                                     | 3                                | 5                                 | 4                         | 6                     | 35                         | 50                          |                            | 150/70                  |
| 20             | 2,6                                    | 1,3                | 100                              | 1                                       | 3                                | 6                                 | 39                        | 5                     | 25                         | 75                          |                            | 150/70                  |
| 21             | 2,8                                    | 1                  | 70                               | 0,1                                     | 3                                | 4                                 | 6                         | 5                     | 25                         | 40                          | открытая                   | 150/70                  |
| 22             | 3                                      | 1,1                | 70                               | 0,2                                     | 4                                | 2                                 | 10                        | 3                     | 15                         | 30                          |                            | 150/70                  |
| 23             | 1                                      | 1,2                | 70                               | 0,3                                     | 5                                | 3                                 | 8                         | 4                     | 20                         | 35                          |                            | 150/70                  |
| 24             | 1,2                                    | 1,3                | 70                               | 0,4                                     | 6                                | 4                                 | 6                         | 5                     | 25                         | 40                          |                            | 150/70                  |
| 25             | 1,4                                    | 1,4                | 70                               | 0,5                                     | 7                                | 1                                 | 12                        | 2                     | 10                         | 25                          |                            | 150/70                  |
| 26             | 1,6                                    | 1,3                | 70                               | 0,6                                     | 6                                | 5                                 | 4                         | 6                     | 30                         | 45                          | закрыва                    | 150/70                  |
| 27             | 1,8                                    | 1,2                | 100                              | 0,7                                     | 5                                | 5                                 | 19                        | 6                     | 40                         | 70                          |                            | 150/70                  |
| 28             | 2                                      | 1,1                | 100                              | 0,8                                     | 4                                | 5                                 | 29                        | 6                     | 35                         | 75                          |                            | 150/70                  |
| 29             | 2,2                                    | 1,2                | 100                              | 0,9                                     | 3                                | 5                                 | 34                        | 6                     | 30                         | 75                          |                            | 150/70                  |
| 30             | 2,4                                    | 1,3                | 100                              | 1                                       | 3                                | 5                                 | 4                         | 6                     | 35                         | 50                          |                            | 150/70                  |

В табл. 7.2. приведен пример исходной информации для выбора и расчета схемы и оборудования ХВО котельной.

Таблица 7.2

## Исходная информация для расчета и выбора оборудования ХВО

| № п/п | Параметр   | Обозначение         | Единица измерения       | Величина |      |
|-------|--|---------------------|-------------------------|----------|------|
|       |  |                     |                         | Пр.1     | Пр.2 |
| 1     | Производительность водоподготовки  | $G_{ХВО}$           | м <sup>3</sup> /ч       | 29,0     | 46,0 |
| 2     | Расход воды на отмывку одного фильтра (при $\tau_{отм} = 1$ ч)                 | $Q_{отм}$           | м <sup>3</sup> /ч       | 3,12     | 6,86 |
| 3     | Потери напора в подогревателе “сырой” воды                                     | $\Delta h_{п}$      | МПа                     | 0,02     | 0,03 |
| 4     | То же в фильтре I ступени  | $\Delta h_{ФI}$     | То же                   | 0,05     | 0,07 |
| 5     | То же в фильтре II ступени   | $\Delta h_{ФII}$    | “                       | 0,06     | 0,07 |
| 6     | Отметка установки деаэрационной колонки  | $h_{г}$             | м                       | 7,0      | 5,0  |
| 7     | Потери напора в охладителе выпара  | $\Delta h_{вып}$    | МПа                     | 0,02     | 0,02 |
| 8     | То же в охладителе продувочной воды  | $\Delta h_{охл пр}$ | То же                   | 0        | 0    |
| 9     | То же в охладителе деаэрированной воды   | $\Delta h_{охл}$    | “                       | 0        | 0,04 |
| 10    | То же в трубопроводах  | $\Delta h_{тр}$     | “                       | 0,03     | 0,04 |
| 11    | Избыточное давление при входе в деаэрактор                                     | $h_{изб}$           | “                       | 0,02     | 0,02 |
| 12    | Давление воды в трубопроводе перед насосом                                     | $H_{ввода}$         | “                       | 0,15     | 0,12 |
| 13    | КПД насоса   | $\eta_{н}$          | -                       | 0,55     | 0,65 |
| 14    | Запас технической соли   | $b$                 | сут                     | 10       | 10   |
| 15    | Расчетный остаток перед поступлением   | $p$                 | “                       | 10       | 10   |
| 16    | Суточный расход технической соли   | $G_{сут}$           | кг/сут                  | 69,1     | 386  |
| 17    | Скорость фильтрования в солерастворителе                                       | $w_{с}$             | м/ч                     | 5        | 5    |
| 18    | Назначение солерастворителя  | -                   | -                       | ф        | ф    |
| 19    | Температура воды после подогревателя “сырой” воды                              | $t_2$               | °С                      | 30       | 30   |
| 20    | Энтальпия насыщенного пара перед подогревателем “сырой” воды при $P = 0,5$ МПа | $i_{нп}$            | кДж/кг                  | 2749     | 2749 |
| 21    | Энтальпия конденсата после подогревателя “сырой” воды                          | $i_{к}$             | “                       | 561      | 561  |
| 22    | Температура насыщенного пара при $P = 0,5$ МПа                                 | $t_{нп}$            | °С                      | 152      | 152  |
| 23    | То же конденсата при $P_{к} = 0,3$ МПа   | $t_{к}$             | “                       | 133      | 133  |
| 24    | Коэффициент теплопередачи в подогревателе “сырой” воды                         | $K_{п с}$           | кВт/(м <sup>2</sup> ·К) | 2,5      | 3,0  |

Определение производительности водоподготовки приведено в табл. 7.3.

Выбор схемы водоподготовки приведен в табл. 7.4 (пр. №1) и табл. 7.5 (пр. №2)

## 7.2. Выбор схемы водоподготовки

Таблица 7.3

### Определение расчетной производительности системы водообработки котельной

| № п/п | Параметр   | Единица измерения | Обозначение       | Расчетная формула   | Величина |           |
|-------|--|-------------------|-------------------|---|----------|-----------|
|       |  |                   |                   |   | Пр.1     | Пр.2      |
| 1     | Энтальпия питательной воды                         | кДж/кг            | $i_{ПВ}$          | $c \cdot t_{ПВ}$  | 419      | 335       |
| 2     | Расход теплоты на отопление и вентиляцию           | МВт               | $Q_{ОВ}$          | $D_{ОВ} (i_{НП} - i_{ПВ}) / 3600$   | 2,5      | 3,4       |
| 3     | Потери воды в тепловых сетях                       | т/ч               | $G_{ТС}$          | $g_{СИСТ} \cdot Q_{ОВ} \cdot 0,005$   | 0,54     | 0,73      |
| 4     | Среднечасовой расход воды на горячее водоснабжение | То же             | $G_{ГВ}$          | $D_{ГВ} (i_{НП} - i_{ПВ}) / (t_{ГВ} - t_{СВ}) \cdot c$                        | 20,5     | 32,0      |
| 5     | Потери конденсата на производстве                  | т/ч               | $G_{К}$           | $(1 - \mu) \cdot D_{ПОТ}$   | 1,20     | 3,0       |
| 5     | Внутрикотельные потери пара                        | То же             | $D_{ПОТ}$         | $0,002 \cdot \sum D$  | 0,02     | 0,04      |
| 6     | Потери пара с выпаром и на обдувку                 | “                 | $D_{ВЫП}$         | $0,08 \cdot \sum D$   | 0,96     | 1,60      |
| 5     | Суммарные потери пара в котельной                  | “                 | $\sum D_{ПОТ}$    | $G_{К} + D_{ПОТ} + D_{СН} + D_{МАЗ}$  | 3,18     | 5,64      |
| 7     | Относительные суммарные потери пара в котельной    | -                 | $\alpha_{К}$      | $\sum D_{ПОТ} / \sum D$   | 0,265    | 0,282     |
| 8     | Расчетная производительность системы водообработки | “                 | $G_{ХВО}$         | $1,2 (\sum D_{ПОТ} + G_{ТС} + G_{ГВ})$ ,                                      | 29,0     | 46,0      |
| 9     | Расчетная производительность фильтров II ступени   | Откр./Закр.       | $G_{ХВО}^{II ст}$ | $G_{ХВО} - (G_{ТС} + G_{ГВ})$<br>$G_{ХВО} = G_{ХВО}^{I ст} = G_{ХВО}^{II ст}$ | 8,0<br>- | -<br>46,0 |

Таблица 7.4

## Примеры выбора схемы водоподготовки паровых котельных

| № п/п   | Параметр  | Единица измерения | Обозначение    | Расчетная формула  | Величина |       |
|---|---|-------------------|----------------|--|----------|-------|
|   |   |                   |                |  | Пр.1     | Пр.2  |
| 1   | Сухой остаток котловой воды                           | мг/кг             | $S_{KB}$       | См. табл. 3  | 2000     | 2000  |
| 2   | Сухой остаток обработанной воды                       | мг/кг             | $S_{OB}$       | $S_{OB} + 2,96 \cdot Ca^{+2} + 10,84 \cdot Mg^{+2}$                  | 347,3    | 216,0 |
| 3   | Величина продувки                                     | %                 | П              | $S_{OB} \cdot \alpha_K \cdot 100 / (S_{KB} - S_{OB} \cdot \alpha_K)$ | 4,8      | 3,1   |
| 4   | Количество продувочной воды                           | т/ч               | $G_{ПР}$       | $\Sigma D \cdot П / 100$   | 0,60     | 0,62  |
| Предусматривается непрерывная продувка с установкой расширителя (сепаратора) непрерывной продувки, так как $0,5 < G_{ПР} < 1,0$ т/ч.  |   |                   |                |  |          |       |
| 5   | Общая щелочность обработанной воды                    | мг-экв/кг         | $Щ_{ОВ}$       | При Na-катионировании<br>$Щ_{ОВ} = Щ_{В}, Щ_{ОВ} = Ж_{К}$            | 0,64     | 1,50  |
| 6   | Относительная щелочность котловой воды                | %                 | $Щ_{ОТН}^{KB}$ | $40 Щ_{ОВ} / 100 / S_{OB}$   | 7,4      | 27,8  |
| 7   | Тип деаэратора  | -                 | -              | Тип ДА: 1 - без барботажа;<br>2 - с барботажем                       | 1        | 1     |
| 8   | Доля разложения $Na_2CO_3$ в котле                    | -                 | $\sigma$       | См. Формулу (1.4)  | 0,61     | 0,67  |
| 9   | Содержание углекислоты в паре                         | мг/кг             | $CO_2$         | $22 \cdot Щ_{ОВ} \cdot \alpha_{ОВ} (1 + \sigma)$                     | 6,2      | 15,5  |
| Для пр.№1 $CO_2 < 20$ мг/кг, поэтому по всем трем параметрам схема Na-катионирования удовлетворяет. Тем не менее необходимо проводить дегазацию конденсата, так как $CO_2 > 5$ мг/кг. |   |                   |                |  |          |       |
| Для пр. №2 необходимо применять схему обработки воды, предусматривающую снижение $Щ_{ОТН}^{KB}$ при Na-катионировании с нитратированием либо Na-Cl-ионировании.                       |   |                   |                |  |          |       |
| При Na-Cl-ионировании $Щ_{ОТН}^{KB}$ принимается 20 %   |   |                   |                |  |          |       |
| 10  | Щелочность обработанной в Cl-анионитных фильтрах воды | мг-экв/кг         | $Щ_{ОВ}$       | $Щ_{ОТН}^{KB} S_{OB} / 40 \cdot 100$<br>согласно формуле (1.1)       | -        | 1,0   |

## 7.3. Алгоритм расчета Na-катионитовых (Na-Cl-ионитовых) фильтров

Пример расчета оборудования и схемы с использованием Na-Cl –ионитных фильтров (см. табл.7.5).

Таблица 7.5

Алгоритм расчета Na-катионитовых (Na-Cl-ионитовых) фильтров второй и первой ступени

| № п/п   | Параметр  | Единица измерения | Обозначение  | Расчетная формула  | Величина |          |
|---|---|-------------------|--|--|----------|----------|
|   |   |                   |  |  | Пр.1     | Пр.2     |
| Расчет фильтров второй ступени  |   |                   |  |  |          |          |
| 1   | Площадь фильтрования (определяется предварительно)                      | м <sup>2</sup>    | $F_{\Phi}^{\text{II}}$                                 | $G_{\text{ХВО}}^{\text{II}} / w_{\Phi}^{\text{II}}$  | 0,2      | 1,15     |
| 2   | Фильтр, принимаемый к установке   | м                 | $\alpha_{\text{У}}$                                    | См. [2]  | 0,7      | 1,5      |
| 3   | Площадь фильтрования  | м <sup>2</sup>    | $F_{\Phi}^{\text{II}}$                                 | См. [2]  | 0,39     | 1,72     |
| 4   | Скорость фильтрования   | м/ч               | $w_{\text{Л}}$   | $G_{\text{ХВО}}^{\text{II}} / F_{\Phi}^{\text{II}} \cdot a$ при $a=1$  | 20,6     | 26,8     |
| 5   | Высота слоя анионита (АН-2Ф)  | м                 | $h_{\text{а}}$   | См. [2]  | 0        | 1,0      |
| 6   | Высота слоя катионита (сульфоуголь)                                     | м                 | $h_{\text{к}}$   | $h_{\text{СЛ}} - h_{\text{а}}$   | 2,0      | 0,5      |
| 7   | Объем анионита  | м <sup>3</sup>    | $V_{\text{а}}^{\text{II}}$                             | $F_{\Phi} \cdot h_{\text{а}}$  | 0        | 1,72     |
| 8   | Объем катионита   | м <sup>3</sup>    | $V_{\text{к}}^{\text{II}}$                             | $F_{\Phi} \cdot h_{\text{к}}$  | 0,78     | 0,86     |
| 9   | Количество удаляемых из обрабатываемой воды:<br>анионов<br>катионов     | Г-ЭКВ/СУТ         | А  | $(\text{Щ}_{\text{ИВ}} - \text{Щ}_{\text{ОВ}}^{\text{а}}) G_{\text{ХВО}} \cdot 24$<br>$(\text{Ж}_{\text{О}}^{\text{I}} - \text{Ж}_{\text{О}}^{\text{II}}) G_{\text{ХВО}} \cdot 24$ | -        | 550      |
| 10  |   | То же             | К  |  | 15,3     | 16,9     |
| 11  | Число регенераций фильтра:<br>по Cl-ионированию<br>по Na-катионированию | 1/сут             | $n_{\text{н}}^{\text{II}}$                             | $A / V_{\text{а}} \cdot F^{\text{а}} \cdot a$<br>$K / V_{\text{к}} \cdot E^{\text{к}} \cdot a$   | -        | 1,08     |
|   |   | 1/сут             | $n_{\text{к}}^{\text{II}}$                             |  | 0,07     | 0,07     |
| Для примера № 1 - регенерация один раз в 14 сут.<br>Для примера № 2 - регенерация один раз в 1 сут.                       |   |                   |  |  |          |          |
| 12  | Расход 100 %-ной соли на одну регенерацию:<br>анионита<br>катионита     | кг<br>То же       | $G_{\text{с}}^{\text{а}}$<br>$G_{\text{с}}^{\text{к}}$ | $q_{\text{с}}^{\text{а}} \cdot V_{\text{а}}$<br>$E_{\text{р}}^{\text{к}} \cdot V_{\text{к}} \cdot q_{\text{с}}^{\text{к}} / 1000$  | -<br>28  | 112<br>- |
| При регенерации анионита одновременно регенерируется и катионит, потребность в реагенте, для которого значительно меньше. |   |                   |  |  |          |          |
| 13  | Расход на одну регенерацию насыщенного раствора соли (26 %-ного)        | м <sup>3</sup>    | $Q_{\text{нр}}^{\text{II}}$                            | $G_{\text{с}}^{\text{II}} \cdot 100/1000 \cdot \rho \cdot 26$<br>при $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$   | 0,09     | 0,36     |
| 14  | То же регенерационного раствора (7 %-ного)                              | То же             | $Q_{\text{рр}}^{\text{II}}$                            | $G_{\text{с}} \cdot 100/1000 \cdot \rho \cdot 7$<br>при $\rho = 1,07 \text{ кг/м}^3$   | 0,37     | 1,42     |
| 15  | Суточный расход технической соли (с содержанием NaCl -93 %)             | кг/сут            | $G_{\text{сл}}^{\text{СУТ}}$                           | $G_{\text{с}}^{\text{II}} \cdot n_{\text{н}} \cdot a \cdot 100/93$   | 2,1      | 120      |
| 16  | Расход воды на взрыхляющую промывку фильтра                             | м <sup>3</sup>    | $Q_{\text{взр}}^{\text{II}}$                           | $F_{\Phi}^{\text{II}} \cdot i \cdot \tau_{\text{взр}} \cdot 60/1000$<br>при $i = 3 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$ ,<br>$\tau_{\text{взр}} = 15 \text{ мин}$                       | 1,05     | 4,65     |

Продолжение табл. 7.5

| 1   | 2  | 3                    | 4                            | 5  | 6            | 7            |
|---|--|----------------------|------------------------------|--|--------------|--------------|
| 17  | Расход воды на регенерацию одного фильтра  | То же<br>“           | $Q_I$<br>$Q_{II}$            | $Q_{pp} + Q_{взр} + Q_{отм}$<br>При наличии в схеме бака отмывочной воды<br>$Q_{pp} + Q_{отм}$ | -<br>3,49    | -<br>8,28    |
| 18  | Расход воды на отмывку ионита от продуктов регенерации                                       | $m^3$                | $Q_{отм}^{II}$               | $q_{отм} \cdot V_{a(k)}$ ;<br>при $q_{отм} = 4 m^3/m^3$  | 3,12         | 6,86         |
| 19  | Усредненный расход воды на регенерацию фильтров II ступени:                                  |                      |                              |  |              |              |
| 20  | в сутки<br>в час   | $m^3/сут$<br>$m^3/ч$ | $Q_{II}^{сут}$<br>$Q_{II}^ч$ | $Q \cdot n_{II}$<br>$Q_{сут} / 24$   | 0,24<br>0,01 | 8,28<br>0,35 |
| 21  | Межрегенерационный период работы фильтра II ступени  | ч                    | $\tau^{II}$                  | $(a \cdot 24 / n_{II}) - \tau_{рег}$<br>при времени регенерации<br>$\tau_{рег} = 2 ч$          | 338          | 22           |
| Расчет фильтров первой ступени (Na-катионитовые фильтры)  |  |                      |                              |  |              |              |
| 22  | Площадь фильтрования (определяется предварительно)   | $m^2$                | $F_{фI}$                     | $G_{хво} / w_{фI}^I$   | 1,16         | 1,84         |
| 23  | Принимаемый к установке диаметр  | м                    | $D_y$                        | ФИПа-1-1,5-0,6-пр.1,<br>ФИПа-1-1,5-0,6-пр.2  | 1,5          | 1,5          |
| 24  | Площадь фильтрования   | $m^2$                | $F_{фI}$                     | То же  | 1,72         | 1,72         |
| 25  | Высота слоя  | м                    | $h_{сл}$                     | “  | 2,0          | 2,0          |
| 26  | Объем катионита в фильтре I ступени  | $m^3$                | $V_K^I$                      | $F_{фI} \cdot h_{сл}$  | 3,44         | 3,44         |
| 27  | Число регенераций фильтра I ступени  | 1/сут                | $n_I^*$                      | $G_{хво} \cdot Ж_о \cdot 24 / V_K^I \cdot E_p^k$   | 0,5          | 1,75         |
| Для примера 1 - регенерация 1 раз в 2 сут при $n_I = 0,5$ .<br>Для примера 2 - регенерация 2 раза в сут при $n_I = 2$ . |  |                      |                              |  |              |              |
| 28  | Скорость фильтрования  | м/ч                  | $w_{фI}$                     | $G_{хво} / F_{фI}$   | 17           | 17           |
| 29  | Расход 100 %-ной соли на одну регенерацию  | кг                   | $G_C^I$                      | $E_p^k \cdot V_K^I \cdot q_C^k / 1000$   | 124          | 124          |
| 30  | Расход насыщенного 26 %-ного раствора соли на одну регенерацию                               | $m^3$                | $Q_{нрI}$                    | $G_C^I \cdot 100/1000 \cdot \rho_{26} \cdot 26$  | 0,4          | 0,4          |
| 31  | То же регенерационного 7 %-ного раствора соли  | $m^3$                | $Q_{ррII}$                   | $G_C^I \cdot 100/1000 \cdot \rho_7 \cdot 7$  | 1,68         | 1,68         |
| 32  | Суточный расход технической соли (с содержанием NaCl-93 %) на регенерацию фильтров I ступени | кг/сут               | $G_C^{сут}$                  | $G_C^I \cdot n_I \cdot a \cdot 100/93$   | 67           | 266          |
| 33  | Общий суточный расход технической соли   | кг/сут               | $\Sigma G_C^{сут}$           | $G_{CII}^{сут} + G_{CI}^{сут}$   | 69,1         | 386          |

| 1  | 2   | 3                   | 4                     | 5   | 6     | 7     |
|----|---|---------------------|-----------------------|---|-------|-------|
| 34 | Расход воды на взрыхляющую промывку фильтров I ступени            | м <sup>3</sup>      | $Q_{ВЗР}^I$           | $F_{\phi I} \cdot i \cdot \tau_{ВЗР} \cdot 60/1000$ | 4,62  | 4,62  |
| 35 | Расход воды на отмывку фильтра I ступени                          | м <sup>3</sup>      | $Q_{ОТМ}^I$           | $q_{ОТМ} V_K^I$                                     | 14,8  | 14,8  |
| 36 | Расход воды на регенерацию фильтров I ступени                     | м <sup>3</sup>      | $Q_{РЕГ}^I$           | $Q_{ВЗР}^I + Q_{PP}^I + Q_{ОТМ}^I$                  | -     | -     |
| 37 | То же при наличии бака отмывочной воды                            | м <sup>3</sup>      | $Q_{РЕГ}^I$           | $Q_{PP}^I + Q_{ОТМ}^I$                              | 16,48 | 16,48 |
| 38 | Суммарный расход воды на взрыхление                               | м <sup>3</sup>      | $\Sigma Q_{ВЗР}$      | $Q_{ВЗР}^{II} + Q_{ВЗР}^I$                          | 5,37  | 9,27  |
| 39 | Суммарный расход воды на собственные нужды водообработки          | м <sup>3</sup>      | $\Sigma Q_{СН}$       | $Q_{РЕГ}^{II} + Q_{РЕГ}^I$                          | 19,97 | 24,76 |
| 40 | Суточный расход воды на регенерацию фильтров I ступени            | м <sup>3</sup> /сут | $Q_I^{СУТ}$           | $Q_{РЕГ}^I \cdot a \cdot n_I$                       | 8,24  | 32,96 |
| 41 | То же часовой   | м <sup>3</sup> /ч   | $Q_I^Ч$               | $Q_I^{СУТ} / 24$                                    | 0,34  | 1,37  |
| 42 | Межрегенерационный период работы фильтров I ступени               | ч                   | $\tau^I$              | $(a \cdot 24 / n_I) - \tau_{РЕГ}$                   | 46    | 10    |
| 43 | Суммарный суточный расход воды на собственные нужды водообработки | м <sup>3</sup> /сут | $\Sigma Q_{СН}^{СУТ}$ | $Q_{СН}^{II СУТ} + Q_{СН}^{I СУТ}$                  | 8,48  | 41,24 |
| 44 | То же среднечасовой   | м <sup>3</sup> /сут | $\Sigma Q_{СН}^Ч$     | $Q_{СН}^{II Ч} + Q_{СН}^{I Ч}$                      | 0,35  | 1,72  |
| 45 | Максимальный часовой расход воды при отмывке одного из фильтров   | м <sup>3</sup> /ч   | $Q_{max}$             | $G_{ХВО} + F_{\phi}^I \cdot w_{ОТМ}$                | 35,1  | 56,03 |
| 46 | Суммарный расход воды на водообработку с учетом собственных нужд  | м <sup>3</sup> /ч   | $\Sigma G_{ХВО}$      | $G_{ХВО} + \Sigma Q_{ОТМ}^Ч$                        | 29,35 | 47,72 |

Примечание.  $E$  - активность анионита;  $a$  - количество одновременно работающих фильтров.

Алгоритм расчета для выбора оборудования системы водоподготовки котельной приведен в табл. 7.6.

#### 7.4. Алгоритм расчета для выбора оборудования системы водоподготовки

Таблица 7.6

#### Алгоритм расчета для выбора оборудования системы водоподготовки котельной

| № п/п   | Параметр   | Обозначение            | Единица измерения   | Расчетная формула   | Величина          |                   |
|---|--|------------------------|---------------------|---|-------------------|-------------------|
|   |  |                        |                     |   | Пр.1              | Пр.2              |
| 1   | 2  | 3                      | 4                   | 5   | 6                 | 7                 |
| 1   | Подача насоса “сырой” воды                           | $G_H$                  | м <sup>3</sup> /ч   | $1,1 Q_{\max}$  | 38,5              | 61,5              |
| 2   | Суммарные потери напора насоса “сырой” воды          | $\Sigma H_H$           | МПа                 | $\Delta h_{\Pi} + \Delta h_{\Phi I} + \Delta h_{\Phi II} + \Delta h_g + h \cdot 0,01 + \Delta h_{\text{ОХЛ}} + \Delta h_{\text{ОХЛ}}_{\text{ПР}} + \Delta h_{\text{ТР}} + h_{\text{ИЗБ}}$ | 0,27              | 0,33              |
| 3   | Мощность электродвигателя насоса                     | $H_H$                  | МПа                 | $1,2 (\Sigma H_H - H_{\text{ВВОД}})$  | 0,144             | 0,25              |
| 4   | Мощность электродвигателя насоса                     | $N_{\text{ЭЛ}}$        | кВт                 | $1,1 H_H - G_H / 3,6 \cdot \eta_H \cdot 0,93$   | 3,3               | 3,3               |
| 5   | Объем бункера мокрого хранения соли                  | $V_{\text{БУН}}$       | м <sup>3</sup>      | $1,5 \cdot G_C (B + p) / 1000$  | 2,1               | 11,6              |
| 6   | Объем крепкого 26 %-ного раствора соли               | $V_{26}^{\max}$        | м <sup>3</sup> /сут | $G_C^{\text{СУТ}} 100/1000 \cdot 26 \cdot \rho_{26}$  | 0,22              | 1,24              |
| 7   | Площадь сечения фильтра соли                         | $f_C$                  | м <sup>2</sup>      | $V_{26}^{\max} w_C$   | 0,04              | 0,25              |
| 8   | Диаметр фильтра соли                                 | $d_C$                  | м                   | $1,13 \sqrt{f_C}$   | 0,23              | 0,565             |
| К установке принимаются: солерастворитель В-7025/С - для пр. 1 с $D = 0,48$ м, солерастворитель Д-27025 - для пр. 2 с $D = 0,72$ м. |  |                        |                     |   |                   |                   |
| 9   | Свободный объем растворителя соли                    | $V_{\text{СВ}}$        | м <sup>3</sup>      | $V_C - V_{\text{ФМ}}^C \quad V_{\text{СВ}} \geq V_{26}^{\max}$  | 0,18              | 0,19              |
| 10  | Суммарный объем регенерационного раствора (7 %) соли | $\Sigma Q_{\text{РР}}$ | м <sup>3</sup>      | $Q_{\text{РР}}^I + Q_{\text{РР}}^{II}$  | 2,05              | 3,10              |
| К установке принимается бак-мерник: для пр. 1 - $D = 600$ мм, для пр. 2 - $D = 800$ мм.   |  |                        |                     |   |                   |                   |
| 11  | Расход теплоты на подогрев “сырой” воды              | $Q_{\text{ПС}}$        | кДж/ч               | $10^3 \cdot Q_{\max} \cdot 4,19 (t_2 - t_{\text{СВ}})$  | $3,67 \cdot 10^6$ | $5,87 \cdot 10^6$ |

Продолжение табл. 7.6

| 1  | 2   | 3              | 4                 | 5   | 6                 | 7                 |
|--|---|----------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|
| 12   | Расход пара на подогрев "сырой" воды (при давлении пара перед водоподогревателем $p = 0,5$ МПа) | $Q_{Пс}$       | кг/ч              | $Q_{Пс}(0,98(i_{нп} - i_{к}))$  | $1,71 \cdot 10^3$ | $2,74 \cdot 10^3$ |
| 13   | Среднеарифметическая разность температур  | $t_{ср}$       | °С                | $\frac{(t_{нп} - t_{св}) - (t_{нп} - t_2)}{2,3 \cdot \lg \frac{(t_{нп} - t_{св})}{(t_{нп} - t_2)}}$ | 137,4             | 137,4             |
| 14   | Требуемая поверхность нагрева пароводяного подогревателя "сырой" воды                           | $F_{Пс}$       | м <sup>2</sup>    | $Q_{Пс} / K_{Пс} \cdot t_{ср}$  | 3,0               | 4,0               |
| К установке принимаем (пр.1 и 2) - подогреватель БИКЗ с $F = 4,0$ м <sup>2</sup> . |   |                |                   |   |                   |                   |
| 15   | Подача (производительность) химического насоса регенерационного раствора соли                   | $G_{Х7}$       | м <sup>3</sup> /ч | $1,2 \sum Q_{рр} / 0,5$   | 4,9               | 7,5               |
| 16   | Расчетный напор химического насоса регенерационного раствора соли                               | $H_{Х7}$       | МПа               | $1,4 h_{ф1}$  | 0,07              | 0,10              |
| 17   | Мощность электрического двигателя химического насоса регенерационного раствора                  | $N_{эл}^X$     | кВт               | $1,1 G_{Х7} H_{Х7} / 3,6 \cdot 0,5 \cdot 0,93$  | 0,25              | 0,64              |
| К установке принимается химический насос Х50-32-125 Д (для пр. 1 и 2).             |   |                |                   |   |                   |                   |
| 18   | Подача химического насоса взрыхляющей промывки  | $G_{Х10}$      | м <sup>3</sup> /ч | $1,2 Q_{взр}^I + Q_{взр}^{II} / 0,25$   | 27,0              | 44,4              |
| 19   | Расчетный напор химического насоса взрыхляющей промывки   | $H_{Х10}$      | МПа               | $1,2 \cdot 2 h_{ф1}$  | 0,12              | 0,17              |
| 20   | Мощность электродвигателя химического насоса взрыхляющей промывки                               | $N_{эл}^{взр}$ | кВт               | $1,1 H_{Х10} \cdot G_{Х10} / 1,77$  | 2,0               | 4,7               |

На основании полученных в наших примерах результатов к установке принимается насос. Характеристики приведены в табл. 7.7.:

Характеристики подобранных насосов

|                           | Пример 1  | Пример 2  |
|---------------------------|-----------|-----------|
| Тип                       | К45/30    | К90/35    |
| Подача, м <sup>3</sup> /ч | 25-45     | 60-100    |
| Напор, МПа                | 0,24-0,19 | 0,26-0,19 |
| Электродвигатель          | АИР100L2  | АИР112М2  |
| Мощность, $N_{эл}$ , кВт  | 5,5       | 7,5       |
| Масса, кг                 | 115       | 133       |

В примерах, приведенных в данном пособии, на основании расчета к установке принимаются солерастворитель  $D = 480$  мм (пример 1) и  $D = 720$  мм (пример 2). Характеристики их приведены в [2]. Согласно расчету, суммарный объем регенерационного раствора составляет  $76 \text{ м}^3$ . По [2] подбираются соответствующие баки-мерники с полезной емкостью  $250 \text{ дм}^3$  (пример 1) и  $630 \text{ дм}^3$  (пример 2). (для примера 1 и 2 – БиКЗ с  $F_{гс} 4,0 \text{ м}^2$ ).

Запись исходной информации и расчет для наших примеров приведены соответственно в табл. 7.1 и 7.5.

Пример записи (пр.1). В соответствии с расчетом принимаем к установке двухсекционный железобетонный бункер емкостью  $V = 3 \text{ м}^3$  с общим запасом соли на 10 сут, с размером секции  $1,75 \times 0,9 \times 1,00 \text{ м}$ .

## **Заключение**

Изучение данного учебного пособия студентами направления подготовки 08.03.01 – «Строительство» (профиль: Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве) и 13.03.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль: «Энергообеспечение предприятий») позволяет детально изучить систему водоподготовки паровых и водогрейных котельных, широко используемых в промышленности и жилищно-коммунальном секторе. Глубже усвоить такие понятия как механическая, химическая очистка исходной воды, характеристика природных вод. Изучить методы безреагентной обработки воды и методы обработки обмёнами ионов.

В пособии достаточно подробно изложены способы дегазации воды для котлов и тепловых сетей. Рассмотрены конструкции и схемы подключения атмосферных и вакуумных деаэраторов. Дано представление о значении продувки паровых котлов и конструктивные схемы оборудования продувки. Приводятся нормативные требования к качеству питательной, котловой, сетевой воды для водогрейных котельных и тепловых сетей, а также требование к качеству пара.

Кроме того приводятся требования к размещению оборудования и к помещению лаборатории ХВО в котельной

Изучение теоретических основ обработки воды для паровых и водогрейных котлов позволит студентам в будущем принимать эффективные решения по способу обработки воды в котельных и тепловых сетях, использовать эти знания в своей будущей работе. Рассмотренное оборудование и схемы дают возможность студентам уверенно и доброкачественно выполнить практические задания.

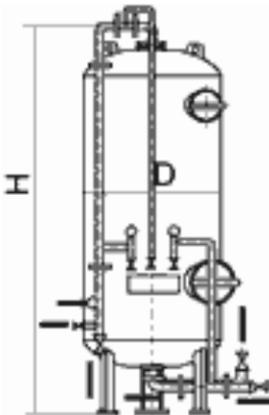
В пособии даны два примера алгоритма выбора эффективной схемы обработки воды, подбор полного комплекта оборудования ХВО.

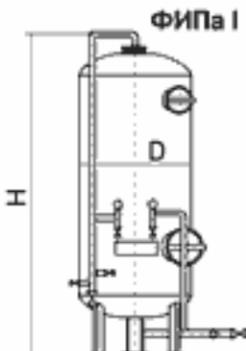
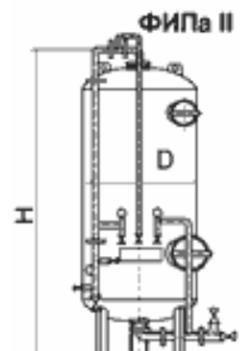
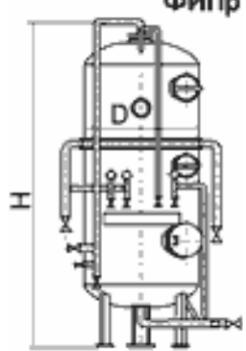
Анализ представленных в пособии данных позволяет определить основные направления развития методов, технологий и конструкций, позволяющие повысить надежность и долговечность работы котельного оборудования и трубопроводов.

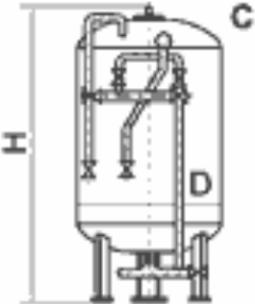
## Приложения

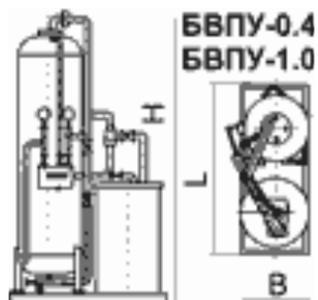
Приложение III

Оборудование водоподготовки, производимое «САРЭНЕГОМАШ»

|   |  |             |             |
|---|--|-------------|-------------|
|  | <p><b>Фильтры осветительные ФОВ</b> предназначены для удаления из воды взвешенных частиц разной степени дисперсности. Фильтры оснащаются дренажными колпачками из сополимера стирола или нержавеющей стали. Фильтры комплектуются фронтом наружных трубопроводов, запорно-регулирующей арматурой, КИП.</p> |             |             |
|   | Наименование параметра   | ФОВ-1,0-0,6 | ФОВ-1,4-0,6 |
|   | Производительность, м <sup>3</sup> /ч  | 10          | 16          |
|   | Давление воды рабочее, МПа   | 0,6         | 0,6         |
|   | Температура, °С  | до 40       | до 40       |
|   | Вместимость, м <sup>3</sup>  | 1,75        | 2,9         |
|   | Фильтрующая загрузка (антрацит или кварцевый песок)  |             |             |
|   | - высота, м  | 1           | 1           |
|   | - объем, м <sup>3</sup>  | 0,8         | 1,54        |
|   | - масса фильтрующей загрузки (антрацита d=0.8...1.5), кг   | 700         | 1230        |
| - масса фильтрующей загрузки (кварца d=0.5...1), кг                               | 1300   | 2460        |             |
| Диаметр фильтра, мм   | 1020   | 1424        |             |
| Высота, мм  | 3100   | 3120        |             |
| Масса аппарата без загрузки, кг   | 950  | 1562        |             |

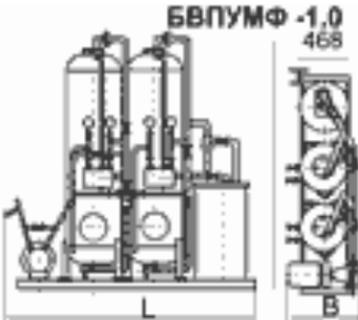
|  |  |                                  |                                 |                            |                            |                          |                          |
|--|--|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <br><br> | <p><b>Фильтры Na-катионитные</b> предназначены для умягчения исходной воды.</p> <p>ФИПаI - фильтры натрий катионитные первой ступени предназначены для умягчения исходной воды.</p> <p>ФИПаII - фильтры натрий катионитные второй ступени предназначены для улавливания проскоков жесткости в схемах глубокого умягчения.</p> <p>ФИПр - фильтры натрий катионитные противоточные предназначены для глубокого умягчения исходной воды без применения фильтров второй ступени.</p> <p>Фильтры комплектуются фронтом наружных трубопроводов, запорно-регулирующей арматурой, КИП.</p> |                                  |                                 |                            |                            |                          |                          |
|  | Наименование параметра   | ФИПаI -<br>0,7<br>-0,6- Na-<br>2 | ФИПаI -<br>1,0<br>-0,6-<br>Na-2 | ФИПаII-<br>1,0- 0,6-<br>Na | ФИПаII-<br>1,4- 0,6-<br>Na | ФИПр-<br>0,7-<br>0,6- Na | ФИПр-<br>0,7-<br>0,6- Na |
|  | Производительность, м <sup>3</sup> /ч  | 12                               | 24                              | 40                         | 92                         | 12                       | 24                       |
|  | Давление воды рабочее, МПа   | 0,6                              | 0,6                             | 0,6                        | 0,6                        | 0,6                      | 0,6                      |
|  | Температура, °С, не более  | 40                               | 40                              | 40                         | 40                         | 40                       | 40                       |
|  | Вместимость, м <sup>3</sup>  | 1,1                              | 2,5                             | 1,75                       | 3,4                        | 1,1                      | 2,2                      |
|  | Фильтрующая загрузка<br>(катионит или<br>сульфоуголь)  |                                  |                                 |                            |                            |                          |                          |
| - высота, м  | 2  | 2                                | 1,5                             | 1,5                        | 2,1                        | 2,1                      |                          |

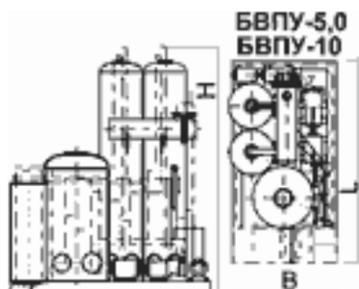
|  |   |      |             |      |           |      |           |
|--|---|------|-------------|------|-----------|------|-----------|
|  | - объем, м <sup>3</sup>   | 0,77 | 1,57        | 1,2  | 2,3       | 0,81 | 1,65      |
|  | - масса загрузки (катионит КУ-2-8), кг  | 575  | 1400        | 850  | 1630      | 700  | 1400      |
|  | - масса загрузки (сульфоуголь СК-1), кг   | 515  | 1050        | 810  | 1550      | 680  | 1330      |
|  | Диаметр фильтра, мм   | 720  | 1020        | 1020 | 1424      | 720  | 1020      |
|  | Высота, мм  | 3445 | 3610        | 3100 | 3120      | 3500 | 3900      |
|  | Масса аппарата без загрузки, кг   | 570  | 910         | 950  | 1562      | 786  | 1350      |
|  | <p><b>Солерастворители</b> предназначены для приготовления раствора NaCl для регенерации фильтрующего материала - катионита, сульфоугля Na-катионитных фильтров. Комплекуются фронтом трубопроводов, запорно-регулирующей арматурой, КИП.</p> |      |             |      |           |      |           |
|  | Наименование параметра  |      | С-0,125-0,4 |      | С-0,5-0,7 |      | С-1,0-1,0 |
|  | Давление воды рабочее, МПа  |      | 0,6         |      | 0,6       |      | 0,6       |
|  | Температура, °С   |      | до 40       |      | до 40     |      | до 40     |
|  | Вместимость, м <sup>3</sup>   |      | 0,125       |      | 0,5       |      | 1         |
|  | Фильтрующая загрузка (антрацит d=0.5...1; 1...5; 5...10)*   |      |             |      |           |      |           |
|  | - масса антрацита d=5...10), кг   |      | 25          |      |           |      | 1,54      |
|  | - масса антрацита d=1...5), кг  |      | 27          |      |           |      | 1230      |
|  | - масса антрацита d=0.5...1), кг  |      | 60          |      |           |      | 2460      |
|  | Масса одной загрузки поваренной соли или хлористого калия, кг   |      | 12,5        |      | 60        |      | 110       |
| Диаметр фильтра, мм  |   | 426  |             | 720  |           | 1020 |           |
| Высота, мм   |   | 1230 |             | 1816 |           | 1800 |           |
| Масса аппарата без загрузки, кг  |   | 151  |             | 238  |           | 440  |           |



**Блочные водоподготовительные установки**  
**БВПУ-0,4; БВПУ-1,0** предназначены для умягчения исходной воды. Установки состоят из Na-катионитного фильтра, солерастворительного бака, трубопроводов, эжектора, арматуры, КИП. При общей жесткости исходной воды до 5 мг-экв/л, жесткость обработанной воды не будет превышать 20 мкг-экв/л.

| Наименование параметра  | БВПУ-0,4 | БВПУ-1 |
|---|----------|--------|
| Давление воды рабочее, МПа                                    | 0,4      | 0,4    |
| Температура, °С   | до 40    | до 40  |
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч                         | 0,4      | 1      |
| Фильтрующая загрузка (катионит или сульфуголь) *              |          |        |
| - масса катионита КУ-2-8, кг                                  | 115      | 170    |
| - масса сульфуголя СК-1, кг                                   | 104      | 155    |
| Масса одной загрузки поваренной соли или хлористого калия, кг | 17,8     | 25     |
| Длина, мм   | 1120     | 1120   |
| Ширина, мм  | 670      | 670    |
| Высота, мм  | 1960     | 2500   |
| Масса аппарата без загрузки, кг                               | 320      | 390    |

| <b>Блочная водоподготовительная установка</b>   |          |
|---|----------|
| <b>БВПУМФ-1,0</b> предназначены для осветления и умягчения исходной воды.   |          |
| Установка состоит из осветлительного фильтра, Na-катионитного фильтра, солевосстановительного бака, трубопроводов, эжектора, арматуры, КИП, насоса. При общей жесткости исходной воды до 5 мг-экв/л, жесткость обработанной воды не будет превышать 20 мкг-экв/л. |          |
|    |          |
| Наименование параметра  | БВПУМФ-1 |
| Давление воды рабочее, МПа  | 0,4      |
| Температура, °С   | до 40    |
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч   | 0,4      |
| Фильтрующая загрузка (катионит или сульфуголь/антрацит или кварц) *   |          |
| - масса катионита КУ-2-8, кг  | 170      |
| - масса сульфуголя СК-1, кг   | 155      |
| Масса одной загрузки поваренной соли или хлористого калия, кг   | 25       |
| Длина, мм   | 2210     |
| Ширина, мм  | 850      |
| Высота, мм  | 2530     |
| Масса аппарата без загрузки, кг   | 780      |

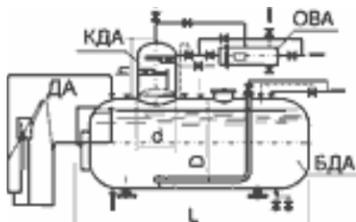


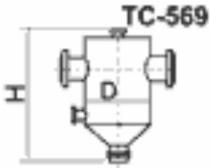
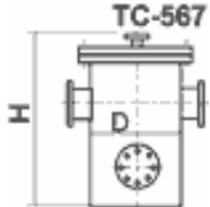
### Блочные водоподготовительные установки

**БВПУ-5; БВПУ-10** предназначены для осветления и умягчения исходной воды (с возможностью аммоний-Na-катионирования) Установки состоят из осветлительного фильтра, двух Na-катионитных фильтров, которые могут работать последовательно или параллельно, баков-мерников хранения реагентов, теплообменника для подогрева воды, трубопроводов, арматуры, КИП, двух насосов.

| Наименование параметра  | БВПУ-5 | БВПУ-10 |
|---|--------|---------|
| Давление воды рабочее, МПа                                    | 0,6    | 0,6     |
| Температура, °С   | до 40  | до 40   |
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч                         | 5      | 10      |
| Фильтрующая загрузка (катионит или сульфуголь) *              |        |         |
| - масса катионита КУ-2-8, кг                                  | 580    | 1400    |
| - масса сульфуголя СК-1, кг                                   | 520    | 1350    |
| Масса одной загрузки поваренной соли или хлористого калия, кг | 53     | 128     |
| Длина, мм   | 2750   | 3050    |
| Ширина, мм  | 1300   | 2300    |
| Высота, мм  | 3740   | 3950    |
| Масса аппарата без загрузки, кг                               | 2465   | 3905    |

| <p><b>Деаэраторы вакуумные ДВ</b> Предназначены для удаления коррозионно-агрессивных газов (кислорода и углекислоты) из питательной воды котлов, главным образом водогрейных и подпиточной воды систем горячего водоснабжения.</p> |               |         |        |        |        |          |          |          |
|--|---------------|---------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|
| Наименование параметра   | ДВ - 5        | ДВ - 15 | ДВ -25 | ДВ -50 | ДВ -75 | ДВ - 100 | ДВ - 150 | ДВ - 200 |
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч  | 5             | 15      | 25     | 50     | 75     | 100      | 150      | 200      |
| Давление воды абсолютное, МПа  | 0,0075...0,05 |         |        |        |        |          |          |          |
| Температура деаэрированной воды, °С  | 40...80       |         |        |        |        |          |          |          |
| Температура теплоносителя, °С  | 70...180      |         |        |        |        |          |          |          |
| Диапазон изменения производи-сти, %  | 30...120      |         |        |        |        |          |          |          |
| Диаметр корпуса, мм  | 616           | 716     | 816    | 1016   | 1016   | 1216     | 1420     | 1620     |
| Вместимость, м <sup>3</sup>  | 0,67          | 0,9     | 1,2    | 1,96   | 1,96   | 2,8      | 3,8      | 5        |
| Высота, мм   | 2900          | 2900    | 3000   | 3000   | 3000   | 3000     | 3000     | 3000     |
| Масса, кг  | 520           | 561     | 666    | 1023   | 1050   | 1225     | 1744     | 2184     |
| Тип охладителя выпара ОВВ  | ОВВ-2         |         |        | ОВВ-8  |        |          | ОВВ-16   |          |
| Тип эжектора водоструйного ЭВ  | ЭВ-10         |         | ЭВ-30  |        | ЭВ-60  |          | ЭВ-100   |          |



|   |  |  |  |  |  |                         |        |        |        |
|---|--|--|--|--|--|-------------------------|--------|--------|--------|
|  |  |  |  |  | <b>Грязевики для фильтрации и очистки воды (<math>T_{\max} - 115^{\circ}\text{C}</math>; <math>P-1,6/1</math> МПа) от механических частиц крупных и средних размеров</b> |                         |        |        |        |
|   |  |  |  |  | Наименование   | Ду-50                   | Ду-80  | Ду-100 | Ду-150 |
|  |  |  |  |  | Чертеж   | ТС-569 (абонентские)    |        |        |        |
|   |  |  |  |  | Масса, кг  | 19,5                    | 36,4   | 69,6   | 78,6   |
|   |  |  |  |  | Наименование   | Ду-200                  | Ду-250 | Ду-300 | Ду-400 |
|   |  |  |  |  | Чертеж   | ТС-567 (вертикальные)   |        |        |        |
|   |  |  |  |  | Масса, кг  | 310                     | 502    | 730    |        |
|   |  |  |  |  | Наименование   | Ду-250                  | Ду-300 | Ду-400 |        |
|   |  |  |  |  | Чертеж   | ТС-565 (горизонтальные) |        |        |        |
|   |  |  |  |  | Масса, кг  |                         |        |        |        |
|   |  |  |  |  | Наименование   | Ду-600                  | Ду-800 |        |        |
|   |  |  |  |  | Чертеж   | ТС-566 (горизонтальные) |        |        |        |
|   |  |  |  |  | Масса, кг  | 1540                    | 2867   |        |        |

### Список используемых и рекомендуемых источников

1. Белан Ф.И. Водоподготовка : Расчеты, примеры, задачи. - Москва : Энергия, 1980. – 256 с.
2. Лифшиц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. – М.: Энергия, 1976. – 288 с.
3. Кострикин Ю.М. Мещерский Н.А., Коровина О.В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. Справочник. – М.: Энергия, 1990. – 251 с.
4. Делягин Г.Н., Лебедев В.И., Пермяков С.А. Теплогенерирующие установки. / Делягин Г.Н., Лебедев В.И., Пермяков С.А. – М.: Стройиздат, 1986. – 559 с.
5. Роддатис К.Ф. Котельные установки. М.: Энергия, 1977. – 488 с.
6. Карауш С. А. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство». - Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2003 – 161 с.
7. Делягин Г.Н. Теплогенерирующие установки / Г.Н. Делягин, В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков. – М.: Стройиздат, 1986. – 559 с.
8. Лебедев В.И. Расчет и проектирование теплогенерирующих установок / В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков, П.А. Хаванов. – М.: Стройиздат, 1992. – 360 с.
9. РД 34.37.506-88 Методические указания по водоподготовке. и водно-химическому режиму водогрейного оборудования и тепловых сетей.
10. РД 34.37.504-83 Нормы качества подпиточной и сетевой воды тепловых сетей

*Учебное издание*

**Бируля Виктор Борисович**

**ВОДОПОДГОТОВКА  
КОТЕЛЬНЫХ**

*Учебное пособие*

*Издается в авторской редакции*

Подписано к использованию 31.05.2023 г.

Объем данных — 6,18 Мб.

Сист. требования: Adobe Reader.

Размещено в открытом доступе на сайте [www.scientia-pub.org](http://www.scientia-pub.org)

Издательский дом «Сциентиа»

г. Санкт-Петербург, пер. Дегтярный, д. 22, литер А

Тел. +7 (812) 649-93-76

[www.scientia-pub.org](http://www.scientia-pub.org)

[info@scientia-pub.org](mailto:info@scientia-pub.org)