

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНЫЙ РЕЖИМ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

ПРАКТИКУМ

**по одноименному курсу для студентов
специальностей 1-43 01 05 «Промышленная
теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая
эксплуатация энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2016

УДК 621.182.12(075.8)
ББК 31.37я73
В62

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 4 от 22.12.2015 г.)*

Составители: *Н. В. Овсянник, Ю. А. Степанишина, Е. Н. Макеева*

Рецензент: доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук *О. Г. Широков*

В62 Водоподготовка и водный режим котельных установок : практикум по одноим. курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / сост.: Н. В. Овсянник, Ю. А. Степанишина, Е. Н. Макеева. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 48 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-305-9.

Направлен на формирование основных навыков, необходимых для грамотного выбора схемы системы водоподготовки с осуществлением различных химических процессов обработки воды, выполнения расчета показателей качества воды и выбора оборудования.

Для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

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

ISBN 978-985-535-305-9

© Овсянник Н. В., Степанишина Ю. А.,
Макеева Е. Н., составление, 2016
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2016

ВВЕДЕНИЕ

Химически обрабатываемая вода в котельных установках используется для питания паровых и водогрейных котлов, подпитки тепловых сетей и технологических нужд предприятий.

В практикуме приводится методика расчета водоподготовительной установки (ВПУ), предназначенной для приготовления воды, идущей на питание паровых котлов определенного типа с заданной производительностью.

Выбор технологического оборудования необходимо осуществлять в соответствии с нормами качества воды.

При расчете необходимо:

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

Расчет ВПУ осуществляется по индивидуальному варианту, определяемому по сумме двух последних цифр номера зачетной книжки студента. Исходные данные представлены в Приложениях 1 и 2.

1. ПЕРЕРАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ИСХОДНОЙ ВОДЫ

Для перерасчета показателей качества воды из мг/кг в мг · экв./кг используется понятие «эквивалент» вещества – это такое количество химического вещества, которое реагирует с 1 г водорода или вытесняет такое же количество водорода из его соединений.

Пример. В исходной воде катионов Ca^{2+} содержится 102 мг/кг. Определяем эквивалент Ca^{2+} по выражению

$$\text{Э}_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{M}{n} = \frac{40,08}{2} = 20,04, \text{ экв.}, \quad (1.1)$$

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

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

Определить суммарную концентрацию катионов и анионов:

$$\sum \text{Кат} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+, \text{ мг} \cdot \text{ экв./кг.};$$

$$\sum \text{Ан} = \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-, \text{ мг} \cdot \text{ экв./кг.}$$

2. НОРМЫ КАЧЕСТВА ВОДЫ И ПАРА

2.1. Нормы качества питательной воды и пара

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

Внутрикотловая обработка воды допускается: для неэкранированных котлов паропроизводительностью менее 0,7 т/ч, работающих на твердом топливе с давлением пара до 14 атм.; для газотрубных

и жаротрубных котлов, работающих на твердом топливе. Жесткость питательной воды для котлов, допускающих внутрикотловую обработку, не должна превышать 3 мг · экв./кг.

Нормы качества питательной воды для паровых котлов при докотловой обработке воды приведены в Приложении 3.

Для промышленных котлов с пароперегревателями, если не предъявляются повышенные требования к качеству пара, солесодержание насыщенного и перегретого пара не должно превышать норм, указанных в Приложении 4.

Для котлов без пароперегревателей влажность пара не должна превышать 1 %, если к пару не предъявляют более повышенных требований.

2.2. Нормы качества котловой воды

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

Сухой остаток котловой (продувочной) воды для котлов ДКВР (без пароперегревателей) принимают по Приложению 5 в зависимости от типа сепарационных устройств, которыми оборудован котел.

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

Сухой остаток котловой (продувочной) воды для котлов, не имеющих заводских паспортных или эксплуатационных данных, может приниматься по Приложению 6.

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

Нижние пределы норм сухого остатка принимаются при более высоком паронапряжении, а верхние пределы – при более низком паронапряжении. Нормы качества котловой воды по сухому остатку даны исходя из величины относительной щелочности котловой воды до 10 %.

2.3. Нормы качества воды для подпитки тепловых сетей

Нормы качества подпиточной воды для тепловых сетей с закрытой или открытой системой теплоснабжения принимаются в соответствии с «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей» (см. Приложение 7).

Приведенная в Приложении 4 карбонатная жесткость выше 0,7 мг · экв./кг допускается при окисляемости воды более 6 мг/кг O₂. Нижний предел нормы карбонатной жесткости (0,4 мг · экв./кг) дан для водогрейных котлов с газомазутными топками, верхний (0,5 мг · экв./кг) – с пылеугольными и слоевыми топками. Нормы карбонатной жесткости для промежуточных температур подогрева воды определяют интерполяцией.

Верхний предел норм значения рН воды для подпитки открытой системы теплоснабжения указан при обработке воды щелочными реагентами. Вода для подпитки открытой системы водяных тепловых сетей должна удовлетворять действующим нормам для питьевой воды.

Отступление от норм по содержанию железа до 0,7–0,8 мг/кг и по прозрачности до 20 см по шрифту допускается по согласованию с местными органами саннадзора в следующих случаях: в период неполного освоения установок горячего водоснабжения – до 1–2 мес.; в период включения отопительных систем – до 7 дн.; в период паводков.

Условная сульфатно-кальциевая жесткость подпиточной воды не должна превышать предельно допустимой величины, при которой исключается возможность выпадения из раствора CaSO₄.

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

Карбонатная жесткость выше 0,7 мг · экв./кг допускается при окисляемости воды более 6 мг/кг O₂. Горячее водоснабжение от котельных с чугунными секционными котлами осуществляется, как правило, через водо-водяные теплообменники по специальному трубопроводу.

3. ВЫБОР СХЕМ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

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

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

3.1. Расчетный метод выбора схем обработки воды

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

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

$$p = \frac{S_{o.b} \cdot \Pi_k \cdot 100}{S_{k.b} - S_{o.b} \cdot \Pi_k}, \quad (3.1)$$

где p – величина продувки котлов по сухому остатку, %; $S_{o.b}$ – сухой остаток обработанной воды, мг/кг; Π_k – суммарные потери пара и конденсата в долях от паропроизводительности котельной; $S_{k.b}$ – сухой остаток котловой воды для принятого типа котла, мг/кг, принимают по паспортным или эксплуатационным данным.

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

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

$$\text{Щ}_{\text{от.к.в}} = \text{Щ}_{\text{от.о.в}} = \frac{40\text{Щ}_{\text{о.в}} \cdot 100}{S_{\text{о.в}}}, \quad (3.2)$$

где $\text{Щ}_{\text{от.к.в}}$ – относительная щелочность котловой воды, %; $\text{Щ}_{\text{от.о.в}}$ – относительная щелочность обработанной воды, %; $S_{\text{о.в}}$ – сухой остаток обработанной воды, мг/кг.

Щелочность обработанной воды следует принимать: для натрий-катионитных установок равной щелочности исходной воды; для схем коагуляции – натрий-катионирования – за вычетом из щелочности исходной воды дозы вводимого коагулянта; для схем с предварительным известкованием ~ 1 мг · экв./кг; для водород-натрий-катионитных и аммоний-натрий-катионитных (условно) – 0,5–0,7 мг · экв./кг, при водород-катионировании с «голодной» регенерацией фильтров – 0,7–1,0 мг · экв./кг.

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

Величина относительной щелочности котловой воды для котлов, имеющих заклепочные соединения и работавших на давлении более 8 атм., не должна превышать 20 %. Для сварных котлов, работающих на давлении более 10 атм. при относительной щелочности

более 20 %, следует предусматривать обработку воды нитратами или аналогичными пассиваторами. При величине относительной щелочности более 50 % для сварных котлов следует предусматривать схемы обработки, снижающие щелочность исходной воды. Величина относительной щелочности для сварных котлов, работающих на давлении менее 10 атм., не нормируется.

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

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

$$\text{CO}_2 = 22\text{Щ}_{\text{о.в}} \cdot \alpha_{\text{о.в}} (1 + \sigma), \quad (3.3)$$

где CO_2 – концентрация углекислоты в паре, мг/кг; $\text{Щ}_{\text{о.в}}$ – щелочность (бикарбонатная) обработанной воды, мг · экв./кг; $\alpha_{\text{о.в}} = 0,5$ – доля обработанной воды в питательной; σ – доля разложения Na_2CO_3 в котле при соответствующем давлении, принимается по графику (рис. 3.1).

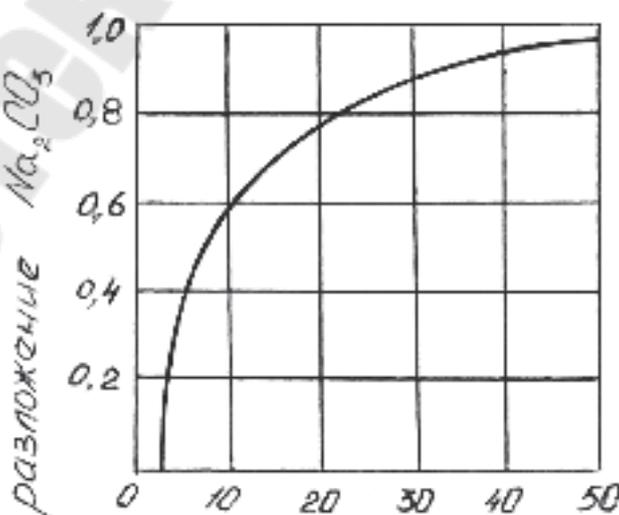


Рис. 3.1. Разложение Na_2CO_3 в зависимости от давления

Концентрацию углекислоты в паре при деаэрации с барботажем определяют по формуле

$$\text{CO}_2 = 22\text{Щ}_{\text{о.в}} \cdot \alpha_{\text{о.в}} (\sigma_1 + \sigma), \quad (3.4)$$

где σ_1 – доля разложения NaHCO_3 в котле, примерно равная 0,4 (60 % разложилось в барботажном деаэраторе).

3.2. Технологические схемы умягчения воды и области их применения

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

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

1. *Натрий-катионирование* (рис. 3.2, а) – рекомендуется для высокоминерализованных вод с малой карбонатной щелочностью (до 0,5 мг · экв./кг); при водоснабжении котельной от хозяйственно-питьевого водопровода и если эта схема допустима по величине продувки котлов, относительной щелочности, концентрации углекислоты в паре; для экранированных котлов, требующих глубокого умягчения, применяют, как правило, двухступенчатое натрий-катионирование.

2. *Натрий-катионирование с добавлением кислоты* (рис. 3.2, б) – если карбонатная щелочность превышает 0,5 мг · экв./кг, то частичное разрушение бикарбонатных солей осуществляется путем ввода кислоты в трубопровод Na-катионированной воды после первой ступени умягчения.

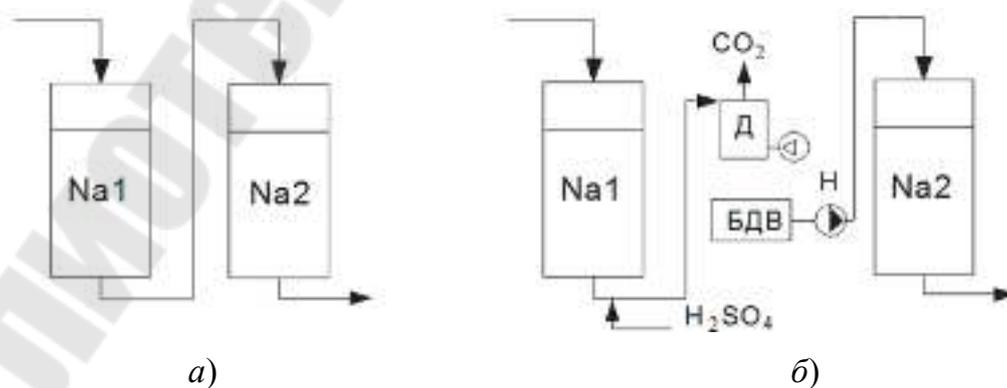


Рис. 3.2. Схемы обработки воды:

- а – параллельное натрий-катионирование;
 б – натрий-катионирование с добавлением кислоты

3. *Параллельное водород-натрий-катионирование* (рис. 3.3, а) – применяется, если требуется снижение щелочности, солесодержания и углекислоты в паре; рекомендуется для природных вод с суммарной жесткостью анионов сильных кислот более $2 \text{ мг} \cdot \text{экв./кг}$ и $\text{Ж}_к > 0,5 \text{ Ж}_о$. Согласно схеме обрабатываемая вода в точке нейтрализации разделяется на два параллельных потока: на H-, Na-катионитные фильтры, после чего их фильтраты смешиваются в общем трубопроводе, где щелочность Na-катионированной воды нейтрализует кислотность H-катионированной воды. Заданная остаточная щелочность $\text{Щ}_{\text{ост}}$ обеспечивается определенным соотношением потоков обрабатываемой воды, направляемой на H-, Na-катионитные фильтры. Если кроме снижения щелочности требуется глубокое умягчение воды, то в схему параллельного H-, Na-катионирования дополнительно включается Na-катионитный фильтр второй ступени.

4. *Последовательное водород-натрий-катионирование* (рис. 3.3, б) – рекомендуется для минерализованных вод с солесодержанием свыше 1000 мг/м^3 при $\text{Ж}_к < 0,5 \text{ Ж}_о$. Согласно схеме основной поток разбивается на два в точке нейтрализации. Первый поток пропускается через H-катионитный фильтр и его кислый фильтрат смешивается в трубопроводе со второй частью потока, происходит частичная нейтрализация сильных кислот бикарбонатными солями, находящимися в исходной воде, с образованием CO_2 .

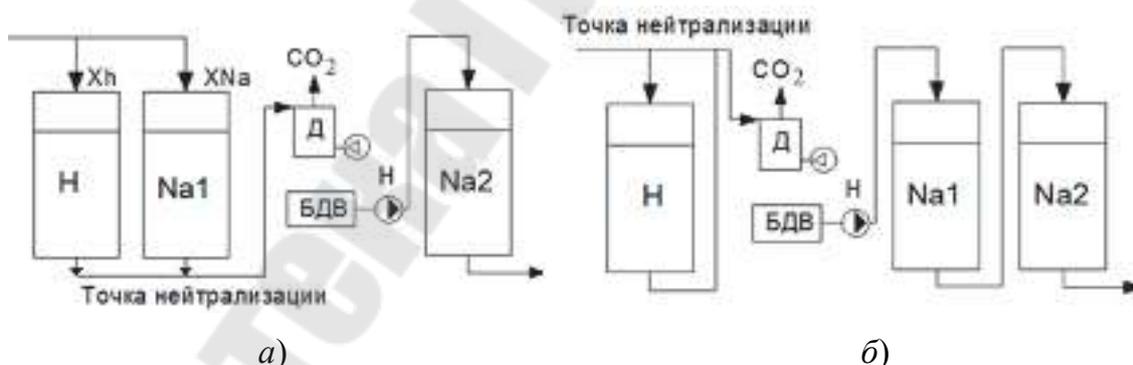


Рис. 3.3. Схемы обработки воды:

- а – параллельное водород-натрий-катионирование;
- б – последовательное водород-натрий-катионирование

5. *H-фильтр с «голодной» регенерацией* (рис. 3.4) рекомендуется для вод с повышенной карбонатной жесткостью и позволяет получить H-катионированную воду, не содержащую сильных минеральных кислот. Образующаяся свободная угольная кислота удаляется в декарбонизаторе, а затем доумягчается на Na-катионитном фильтре. Каче-

ство фильтрата: $J_{\text{ост}} \leq 5$ мкг · экв./кг, $\text{Щ}_{\text{ост}} \approx 0,2-0,3$ мг · экв./кг. Регенерация катионита производится в режиме недостатка кислоты. При этом в Н-форму переводятся только верхние слои катионита, а нижние остаются в формах Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , т. е. назначение Н-катионитного фильтра состоит в основном в разрушении бикарбонатных ионов для получения фильтрата с минимальной щелочностью.

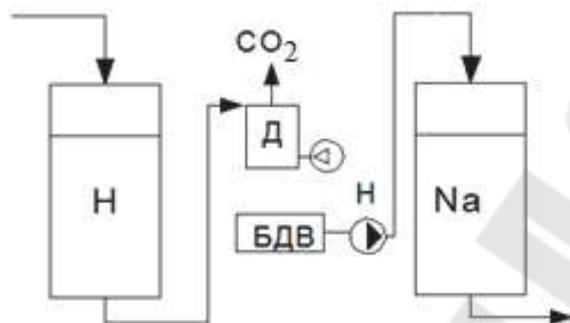


Рис. 3.4. Н-фильтр с «голодной» регенерацией

6. Натрий-хлор-ионирование (рис. 3.5) – для обработки воды хозяйственно-питьевого водопровода при необходимости снижения щелочности и концентрации углекислоты в паре, если величина продувки котлов не превышает норм.

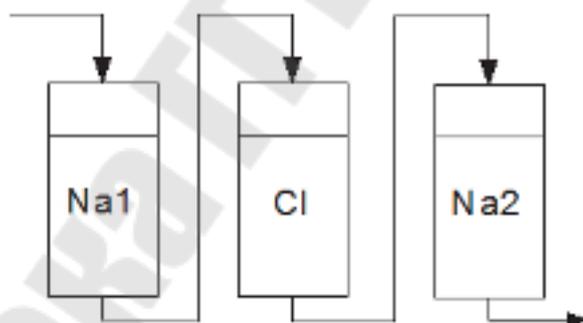


Рис. 3.5. Натрий-хлор-ионирование

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

Качество подпиточной воды для тепловых сетей с закрытой системой теплоснабжения должно соответствовать нормам, приведенным в Приложении 7. В зависимости от качества исходной воды, в соответствии с нормами, подпиточная вода должна подвергаться:

осветлению и коагуляции (если вода поверхностная), деаэрации, снижению карбонатной жесткости до 0,7–1,5 мг · экв./кг, а при подогреве сетевой воды в стальных водогрейных котлах – до 0,4 мг · экв./кг, т. е. по качеству исходной воды и нормам подбираются соответствующие методы обработки, которые в совокупности составляют необходимую схему обработки воды.

Приготовление подпиточной воды для тепловых сетей с закрытой системой теплоснабжения рекомендуется вести по следующим схемам: с последующей деаэрацией для воды из хозяйственно-питьевого водопровода с карбонатной жесткостью до 6 мг · экв./кг – путем *одноступенчатого натрий-катионирования* (остаточная общая жесткость фильтрата около 0,1 мг · экв./кг); при карбонатной жесткости исходной воды более 6 мг · экв./кг – путем *водород-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров* (остаточная карбонатная жесткость около 0,7–1,5 мг · экв./кг); для поверхностных вод – по схемам, указанным на рис. 3.2, а, с *предварительным осветлением и коагуляцией* либо *коагуляцией с известкованием, осветлением* для стабилизации.

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

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

При обработке воды для тепловых сетей с открытой системой теплоснабжения рекомендуется применять следующие схемы обработки воды с последующей деаэрацией: *натрий-катионирование* – для вод хозяйственно питьевого водопровода с карбонатной жесткостью, меньшей или равной 4 мг · экв./кг; *водород-катионирование с «голодной» регенерацией фильтров* – для вод хозяйственно-питьевого водо-

провода с карбонатной жесткостью более 4 мкг · экв./кг; схемы с *предварительной коагуляцией и осветлением* – для поверхностных вод; *известкование и коагуляция с последующим подкислением* для стабилизации – для поверхностных вод, требующих снижения карбонатной жесткости.

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

3.3. Выбор схемы водоподготовительной установки

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

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

1. При карбонатной жесткости J_k исходной воды менее 2 мкг · экв./кг целесообразно применять коагуляцию воды сернокислым алюминием $Al_2(SO_4)_3$ в осветлителе с последующим осветлением в осветлительных фильтрах.

2. При J_k исходной воды более 2 мкг · экв./кг осуществляют коагуляцию сернокислым железом $FeSO_4$ с известкованием в осветлителе с последующим осветлением в осветлительных фильтрах.

Дальнейшая обработка воды проводится на ионитной части ВПУ.

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

- 1) упрощенная (рис. 3.6);
- 2) двухступенчатая (рис. 3.7);
- 3) трехступенчатая (рис. 3.8).

Если котел прямоточного типа, то, независимо от показателей качества исходной воды, обработка воды должна вестись по схеме трехступенчатого обессоливания, которая включает в себя *первую ступень Н-катионирования, слабоосновное анионирование, декарбонизацию, вторую ступень Н-катионирования, сильноосновное анионирование, третью ступень Н-катионирования и сильноосновное анионирование*. Третья ступень чаще всего заменяется фильтром смешанного действия ФСД (Н1-А1-Д-Н2-А2 – ФСД).

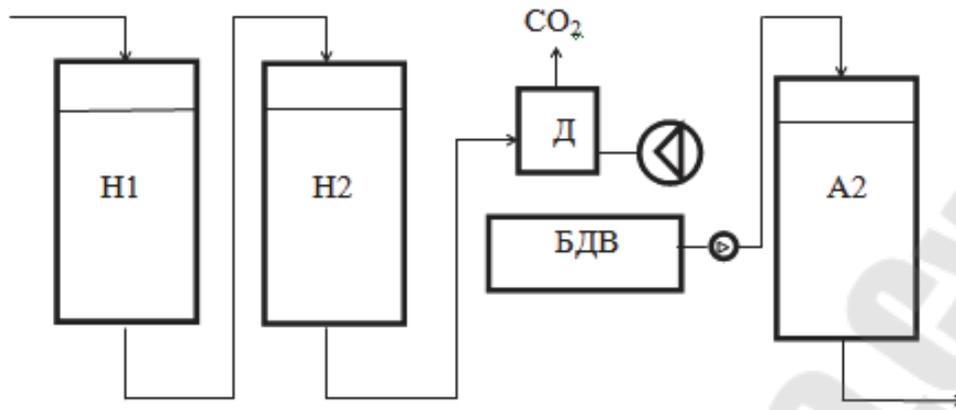


Рис 3.6. Схема частичного (упрощенного) обессоливания

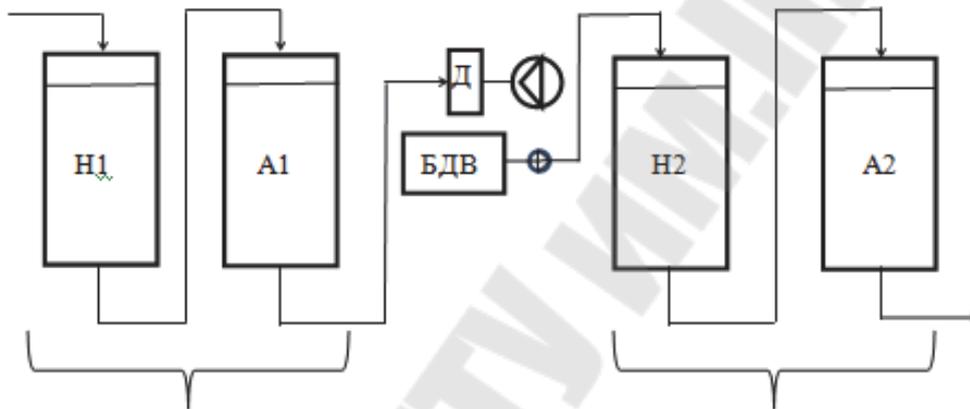


Рис 3.7. Схема двухступенчатого обессоливания

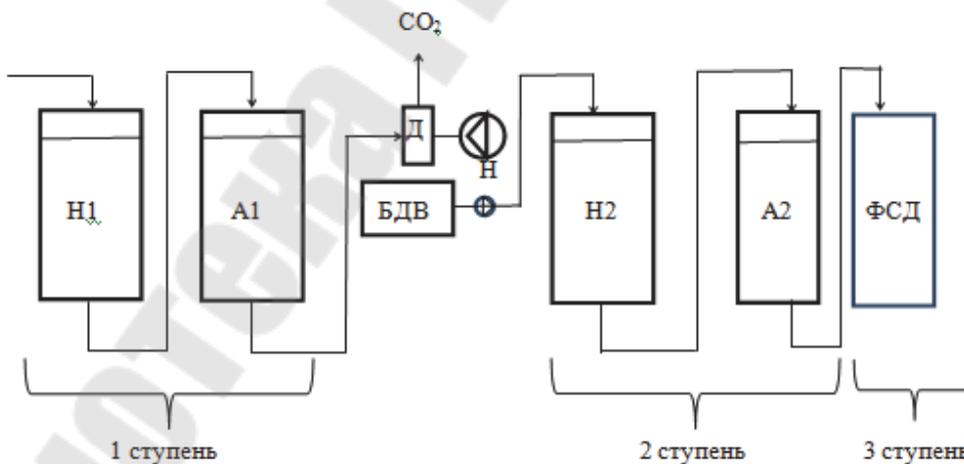


Рис 3.8. Схема трехступенчатого обессоливания

Для котлов барабанного типа выбор схемы обессоливания зависит от суммы анионов сильных кислот (SO_4^{2-} , $+\text{Cl}^-$, $+\text{NO}_3^-$, $+\text{NO}_2^-$) = $\Sigma A_{\text{ск}}$:

а) если $\Sigma A_{\text{ск}} < 2 \text{ мг} \cdot \text{экв./кг}$, то выбирается схема *упрощенного химического обессоливания*, включающая: первую ступень Н-катиони-

рования, вторую ступень Н-катионирования, декарбонизацию, сильноосновное анионирование (Н₁-Н₂-D-A₂). В данной схеме катионитные фильтры Н₁ и Н₂ служат для глубокого умягчения воды. В декарбонизаторе происходит удаление свободной угольной кислоты СО₂. Анионитный фильтр А₂, загруженный высокоосновным анионитом, служит для удаления анионов как сильных, так и слабых кислот. Качество обессоленной воды: солесодержание порядка 1–3 мг/кг, кремнесодержание – не более 0,1–0,3 мг/кг;

б) если $\sum A_{\text{ск}} > 2 \text{ мг} \cdot \text{эquiv./кг}$, то выбирается схема *двухступенчатого химического обессоливания*, включающая: первую ступень Н-катионирования, слабоосновное анионирование, декарбонизацию, вторую ступень Н-катионирования, сильноосновное анионирование (Н₁-А₁-D-Н₂-А₂).

В данной схеме, кроме двух ступеней умягчения воды (фильтры Н₁ и Н₂), установлены две ступени анионирования. Первую ступень (фильтр А₁) загружают низкоосновным анионитом для удаления анионов сильных кислот (Cl, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻). Вторую ступень (фильтр А₂) загружают высокоосновным анионитом для удаления проскоков анионов сильных кислот, а главное – для удаления анионов слабых кислот (НСО₃⁻, HSiO₃⁻, CO₃²⁻, SiO₃²⁻ и т. д.). Качество обессоленной воды при данной схеме: солесодержание – не более 0,2 мг/кг, кремнесодержание – не более 0,04 мг/кг.

После выбора схемы выполняется ее эскизное изображение.

Пример. Схема упрощенного химического обессоливания с коагуляцией FeSO₄ и известкованием (рис. 3.9).

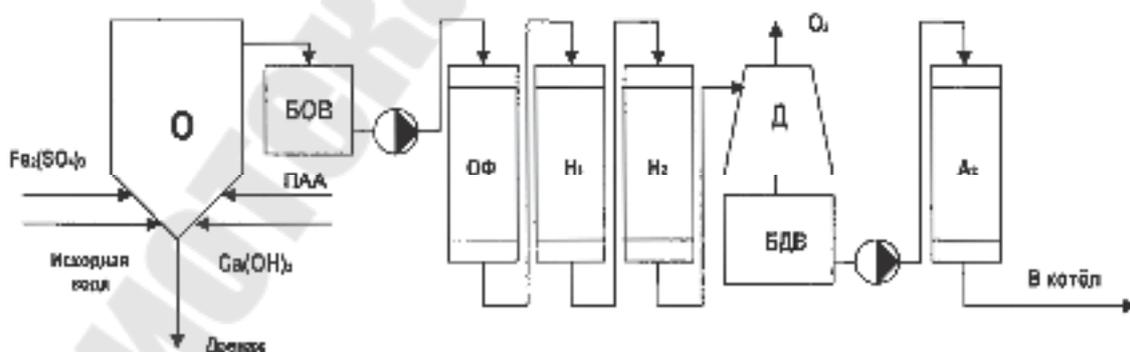


Рис. 3.9. Схема упрощенного химического обессоливания с коагуляцией FeSO₄ и известкованием:

О – осветлитель; ОФ – осветлительный фильтр; БОВ – бак частично осветленной воды; Н₁, Н₂, А₂ – ионитные фильтры; Д – декарбонизатор; БДВ – блок декарбонизированной воды

4. ПАРОВОЙ БАЛАНС КОТЕЛЬНОЙ

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

В ходе выполнения расчетов необходимо составить баланс котельной в виде таблицы.

Пароводяной баланс котельной

| Расходы | Максимально-зимний режим |
|---|--------------------------|
| Паропроизводительность котельной, т/ч | $G_1 = NQ$ |
| Расход пара на производство, т/ч | $G_2 = 0,7G_1$ |
| Потери на производстве, т/ч | $q_3 = 0,5G_2$ |
| Потери на разогрев мазута, т/ч | $q_4 = 0,03q_3$ |
| Потери в котельной, т/ч | $q_5 = 0,02q_3$ |
| Суммарные потери пара и конденсата, т/ч | $q_6 = 0,5G_1$ |
| Потери в деаэраторе подпиточной воды, т/ч | $q_7 = 0,07G_1$ |
| Потери с выпаром в деаэраторе, т/ч | $q_8 = 0,3q_7$ |

Примечание: N – количество котлов; Q – производительность котла.

5. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

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

Производительность водоподготовительной установки складывается из следующих расходов воды:

- расход воды на питание паровых котлов;
- расход воды на подпитку теплосетей;
- расход воды на горячее водоснабжение.

Расход воды на питание паровых котлов:

$$Q_{п.к} = kq_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8 + P \frac{G_1}{100}, \text{ т/ч}, \quad (5.1)$$

где $k = 1,2$ – коэффициент, учитывающий возможность недовозврата.

Определение расходов воды на горячее водоснабжение и на подпитку теплосети не является основной целью, поэтому для упрощения методики расчета, из практических соображений, примем:

$$Q_{г.вс} = 2,5G_1, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (5.2)$$

Расход воды на подпитку теплосетей:

$$Q_{тс}^{\text{под}} = 0,06Q_{г.вс}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (5.3)$$

Производительность водоподготовительной установки:

$$Q_{вп.у} = Q_{п.к} + Q_{г.вс} + Q_{тс}^{\text{под}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (5.4)$$

6. РАСЧЕТ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Расчет оборудования водоподготовительной установки необходимо начинать с хвостовой части, т. е. с натрий-катионитных фильтров второй ступени, поскольку головная часть установки (водородкатионитные фильтры) должна пропустить дополнительное количество воды, идущей на собственные нужды натрий-катионитных фильтров.

6.1. Натрий-катионитные фильтры

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

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

Число ступеней катионирования определяется требованиями к качеству умягчаемой воды. Например, приготовление воды для паровых экранированных котлов, требующих глубокого умягчения, ве-

дется путем двухступенчатого натрий-катионирования; для теплосетей, требующих снижения карбонатной жесткости до $0,7 \text{ мг} \cdot \text{экв./кг}$, достаточно одноступенчатого натрий-катионирования.

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

6.1.1. Na-катионитные фильтры второй ступени

Производительность фильтров Q_{Na_2} принимается равной производительности ВПУ, на основании которой выбираются стандартные характеристики фильтров, применяемых в энергетике с учетом скорости фильтрации (скорость фильтрации воды должна превышать 15 м/с). Необходимо выбрать (см. Приложение 8):

- диаметр фильтра, мм;
- площадь фильтрации $F_{\text{Na II}}$, м^2 ;
- высоту слоя катионита h , м;
- объем катионов $V_{\text{к}}$, м^3 ;
- количество рабочих фильтров a_1 ;
- количество резервных фильтров a_2 .

Общая жесткость фильтрата, поступающего на фильтры второй ступени катионирования – $J_{0\text{ост}_1}$, $\text{мг} \cdot \text{экв./л}$.

Жесткость фильтрата после второй ступени катионирования $J_{0\text{ост}_2}$, $\text{мг} \cdot \text{экв./л}$ (см. Приложение 3).

Далее осуществляется расчет фильтров второй ступени катионирования по следующей методике:

Скорость фильтрации, м/ч:

$$\omega = \frac{Q_{\text{Na II}}}{F_{\text{Na II}}} \quad (6.1)$$

Число регенераций фильтра в сутки, раз/сут.:

$$n_{\text{Na}} = \frac{A}{V_{\text{к}} E_{\text{рNa}} a_1}, \quad (6.2)$$

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

$$A = 24 J_{0\text{ост}2} Q_{\text{Na II}}; \quad (6.3)$$

$E_{\text{рNa}}$ – рабочая объемная способность катионита при Na-катионировании:

$$E_{\text{рNa}} = \alpha_3 \beta_{\text{Na}} E_{\text{п}} - 0,5 J_{0\text{ост}2} q, \quad (6.4)$$

где α_3 – коэффициент эффективности регенерации, учитывающий неполноту регенерации катионита, принять в зависимости от удельного расхода соли на регенерацию (см. Приложение 9); β_{Na} – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита по Ca^{2+} и Mg^{2+} за счет частичного задержания катионов Na^+ , принять по Приложению 10; $E_{\text{п}}$ – полная обменная способность катионита, в расчетах принимается $E_{\text{п}} = 500 \text{ г} \cdot \text{экв.}/\text{м}^3$; q – удельный расход воды на отмывку катионита, $q = 4 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Расход соли на одну регенерацию:

$$Q_{\text{с}} = \frac{E_{\text{рNa}} V_{\text{к}} q_{\text{с}}}{1000}, \quad (6.5)$$

где $q_{\text{с}}$ – удельный расход соли на регенерацию, г/г · экв., принимается в зависимости от жесткости умягчаемой воды и концентрации в ней солей натрия по Приложению 11.

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

$$Q_{\text{н.р}} = \frac{Q_{\text{с}} \cdot 100}{1000 \cdot 1,2 \cdot 26}, \quad (6.6)$$

где 1,2 – удельный вес насыщенного (26%-го) раствора при 20 °С, т/м³.

Расход технической соли в сутки на регенерацию фильтра второй ступени:

$$Q_{\text{с.с}} = \frac{Q_{\text{снNa}} a_1 \cdot 100}{96,5}, \quad (6.7)$$

где 96,5 – содержание NaCl в технической соли.

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

1) расхода воды на взрыхляющую промывку:

$$Q_{\text{взр}} = \frac{iF_{\text{NaII}} \cdot 60t_{\text{взр}}}{1000}, \quad (6.8)$$

где i – интенсивность взрыхляющей промывки фильтров, л/с · м², принимать по Приложению 8; $t_{\text{взр}}$ – продолжительность взрыхляющей промывки, мин, принимать по Приложению 8;

2) расход воды на приготовление регенерационного раствора:

$$Q_{\text{р.р}} = \frac{100Q_{\text{с}}}{1000b\gamma_{\text{р.р}}}, \quad (6.9)$$

где b – концентрация регенерационного раствора, принимается по Приложению 8; $\gamma_{\text{р.р}}$ – удельный вес регенерационного раствора, т/м³;

3) расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации:

$$Q_{\text{от}} = q_{\text{от}}V_{\text{к}}, \quad (6.10)$$

где $q_{\text{от}}$ – удельный расход воды на отмывку катионита, принять 4 м³/м³.

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

$$Q_{\text{сн}} = Q_{\text{рег}} + Q_{\text{от}}. \quad (6.11)$$

То же в среднем за сутки:

$$Q_{\text{NaII}} = Q_{\text{сн}}n_{\text{Na}}. \quad (6.12)$$

6.1.2. Na-катионитные фильтры первой ступени

Производительность фильтров:

$$Q_{\text{NaI}} = Q_{\text{NaII}} + 0,285. \quad (6.13)$$

На основании производительности фильтров второй ступени необходимо выбрать стандартный фильтр с учетом условий, аналогичных выбору фильтров второй ступени (см. Приложение 8).

- диаметр фильтра, мм;
- площадь фильтрации F_{NaI} , м²;

- высота слоя катионита h , м;
- объем катионов V_k , м³;
- количество рабочих фильтров a_1 , шт.;
- количество резервных фильтров a_2 , шт.

Общая жесткость фильтрата, поступающего на фильтры первой ступени катионирования, мг · экв./кг:

$$Ж_{0Na_1} = Ж_0 - Ж_k + 0,4. \quad (6.14)$$

Жесткость фильтра после первой ступени катионирования (см. Приложение 3) принимаем 0,1 мг · экв./кг.

Скорость фильтрации:

$$\omega_{Na_1} = \frac{Q_{Na_1}}{F_{Na_1}}. \quad (6.15)$$

Число регенераций фильтра в сутки:

$$N_{Na} = \frac{A}{V_k E_{pNa_1} a_1}, \quad (6.16)$$

где $A = 24Ж_{0Na_1} Q_{Na_1}; \quad (6.17)$

E_{pNa_1} – рабочая объемная способность катионита при Na-катионировании:

$$E_{pNa_1} = \alpha_3 \beta_{Na} E_{п} - 0,5Ж_{0Na_1} q_c, \quad \text{г} \cdot \text{экв./кг}, \quad (6.18)$$

где $\alpha_3 = 0,74$ – коэффициент, учитывающий эффективность регенерации, неполноту регенерации катионита. При $Ж_0 < 5$ мг · экв./кг удельный расход соли принимаем равным 150 г/г · экв.; при $Ж_0 > 5$ мг · экв./кг удельный расход соли принимаем равным 300–400 г/г · экв.; β_{Na} – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита по Ca и Mg за счет частичного задержания катионов Na [2, с. 35]; $E_{п}$ – полная обменная способность катионита.

Расход соли на одну регенерацию:

$$Q_c = \frac{E_{pNa_1} V_k q_c}{1000}. \quad (6.19)$$

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

$$Q_{н.р} = \frac{Q_c \cdot 100}{1000 \cdot 1,2 \cdot 26}, \text{ м}^3. \quad (6.20)$$

Расход технической соли в сутки на регенерацию фильтра второй ступени:

$$Q_{с.с} = \frac{Q_c N_{Na} a_1 \cdot 100}{96,5}. \quad (6.21)$$

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

1) расхода воды на взрыхляющую промывку:

$$Q_{взр} = \frac{iF_{NaI} 60t_{взр}}{1000}, \text{ м}^3, \quad (6.22)$$

где i – интенсивность взрыхляющей промывки фильтров (см. Приложение 8); $t_{взр}$ – продолжительность взрыхляющей промывки;

2) расхода воды на приготовление регенерационного раствора,

$$Q_{р.р} = \frac{100Q_c}{1000\beta\alpha}, \quad (6.23)$$

где β – концентрация регенерационного раствора.

Следовательно,

$$Q_{от} = qV_k. \quad (6.24)$$

Расход воды на регенерацию Na-катионированного фильтра I ступени с учетом использования отмывочных вод на взрыхляющую промывку:

$$Q_{сн} = Q_{рег} + Q_{от}. \quad (6.25)$$

Без использования отмывочной воды расход будет определяться следующим образом:

$$Q_{сн} = Q_{взр} + Q_{рег} + (Q_{от} - Q_{взр}). \quad (6.26)$$

Расход воды на регенерацию фильтров первой ступени в сутки:

$$Q_{NaI} = 2Q_{сн} N_{Na}. \quad (6.27)$$

То же в среднем за час:

$$Q_{\text{снNaI}} = \frac{Q_{\text{NaI}}}{24}. \quad (6.28)$$

6.2. Водород-катионитные фильтры

Исходными данными для расчета водород-катионитных фильтров кроме их производительности являются требования, предъявляемые к водород-катионированной воде: удаление карбонатной жесткости до определенных пределов, например, в схемах с «голодной» регенерацией фильтров до 0,7–1,5 мг · экв./кг; удаление катионов жесткости кальция и магния в схемах параллельного водород-натрий-катионирования (со снижением щелочности обрабатываемой воды до 0,5–0,7 мг · экв./кг); полное удаление катионов кальция, магния и натрия в схемах химического обессоливания воды.

В котельных установках наибольшее распространение имеет схема водород-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров.

Характеристики водород-катионитного фильтра:

Производительность водород-катионитных фильтров с учетом расхода воды на собственные нужды натрий-катионитных фильтров первой и второй ступеней – Q_{H}^{Γ} , м³/ч.

Диаметр фильтра, мм.

Высота слоя катионита (сульфоугля) – h , м.

Площадь фильтрования – F_{H}^{Γ} , м².

Объем катионита – V_{K} , м³.

Количество работающих фильтров – a , шт.

Количество резервных фильтров, шт.

Остаточная карбонатная жесткость после водород-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров в соответствии с требованиями к качеству подпиточной воды, мг · экв./л.

Карбонатная жесткость, удаляемая на водород-катионитных фильтрах при «голодной» регенерации, мг · экв./л:

$$Ж_{\text{K}}^{\Gamma} = Ж_{\text{K}} - Ж_{\text{K}}^{\text{ост}}. \quad (6.29)$$

Нормальная скорость фильтрования при работе всех рабочих фильтров, м/ч:

$$\omega_{\text{H}} = \frac{Q_{\text{H}}^{\Gamma}}{f_{\text{H}}^{\Gamma} a}. \quad (6.30)$$

Максимальная скорость фильтрования при регенерации одного из фильтров, м/ч:

$$\omega_{\text{м}} = \frac{Q_{\text{H}}^{\text{r}}}{f_{\text{H}}^{\text{r}}(a-1)}. \quad (6.31)$$

Число регенераций каждого водород-катионитного фильтра, один раз/сут.:

$$n_{\text{H}}^{\text{r}} = \frac{24Q_{\text{H}}^{\text{r}}Ж_{\text{к}}^{\text{r}}}{f_{\text{H}}^{\text{r}}H_{\text{сл}}^{\text{r}}E_{\text{p}}^{\text{Hr}}a}, \quad (6.32)$$

где E_{p}^{Hr} рабочая обменная способность катионита при водород-катионировании с «голодной» регенерацией фильтров:

$$E_{\text{p}}^{\text{Hr}} = \alpha_{\text{H}}E_{\text{п}} - 0,5qC_{\text{к}}, \quad (6.33)$$

где α_{H} – коэффициент эффективности регенерации водород-катионита, зависящий от удельного расхода серной кислоты на регенерацию, принимать по Приложению 12; $E_{\text{п}}$ – полная обменная способность катионита; можно принять значения, данные в расчете натрий-катионитных фильтров; 0,5 – доля умягчения отмывочных вод; q – удельный расход воды на отмывку катионита, м³/м³; $C_{\text{к}}$ – общее содержание в воде катионов кальция, магния, натрия и калия, г · экв./м³.

Расход 100%-й серной кислоты на одну регенерацию, кг:

$$Q_{\text{к}}^{\text{p}} = \frac{q_{\text{к}}V_{\text{к}}E_{\text{п}}^{\text{r}}}{1000}, \quad (6.34)$$

где $q_{\text{к}}$ – удельный расход H₂SO₄, г/г · экв.

Расход технической 92%-й серной кислоты, кг/сут.:

$$Q_{\text{т.к}} = \frac{Q_{\text{к}}^{\text{p}}n_{\text{H}}^{\text{r}}a \cdot 100}{92}. \quad (6.35)$$

Расход воды на одну регенерацию водород-катионитного фильтра складывается из:

1) расхода воды на взрыхляющую промывку фильтра, м³:

$$Q_{\text{взр}} = \frac{if_{\text{H}}^{\text{r}} \cdot 60t_{\text{взр}}}{1000}, \quad (6.36)$$

где i – интенсивность взрыхляющей промывки фильтров, л/с · м², принять по Приложению 11; $t_{\text{взр}}$ – продолжительность взрыхляющей промывки, мин, принять по Приложению 11;

2) расхода воды на приготовление регенерационного раствора, м³:

$$Q_{\text{р.р}} = \frac{Q_{\text{к}}^{\text{р}} \cdot 100}{1000b\gamma_{\text{р.р}}}, \quad (6.37)$$

где b – концентрация регенерационного раствора; $\gamma_{\text{р.р}}$ – плотность раствора кислоты, м³;

3) расхода на отмывку катионита, м³:

$$Q_{\text{от}} = q_{\text{от}} F_{\text{H}}^{\Gamma} h, \quad (6.38)$$

где $q_{\text{от}}$ – удельный расход воды на отмывку катионита, принять 4 м³/м³.

Расход воды на одну регенерацию водород-катионитного фильтра с учетом использования отмывочных вод на взрыхление, м³:

$$Q_{\text{сн}}^{\text{H}} = Q_{\text{рег}} + Q_{\text{от}}. \quad (6.39)$$

Расход воды на регенерацию водород-катионитных фильтров, м³/сут.:

$$Q_{\text{сут}} = Q_{\text{сн}}^{\text{H}} n_{\text{H}}^{\Gamma} a. \quad (6.40)$$

Расход воды на регенерацию водород-катионитных фильтров в среднем, м³/ч:

$$Q_{\text{ср}} = Q_{\text{сут}} / 24. \quad (6.41)$$

Время регенерации водород-катионитного фильтра, ч:

$$t_{\text{рег}}^{\text{H}} = \frac{t_{\text{взр}}^{\text{H}} + t_{\text{рег}}^{\text{H}} + t_{\text{от}}^{\text{H}}}{60}. \quad (6.42)$$

Время пропуска регенерационного раствора, мин:

$$t_{\text{р.р}}^{\text{H}} = \frac{6Q_{\text{р.к}}}{F_{\text{H}}^{\Gamma}}. \quad (6.43)$$

Время отмывки фильтра от продуктов регенерации, мин:

$$t_{\text{от}}^{\text{H}} = \frac{6Q_{\text{от}}}{F_{\text{H}}^{\Gamma}}. \quad (6.44)$$

Количество одновременно регенерируемых фильтров, шт.:

$$n_{o.p} = \frac{n_H^r att_{пер}^H}{24}. \quad (6.45)$$

6.3. Декарбонизатор

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

Исходными данными для расчета декарбонизатора являются: количество и температура декарбонизируемой воды, содержание углекислоты до и после декарбонизатора.

Концентрация растворенной в воде углекислоты, мг/л, поступающей на декарбонизатор:

$$CO_2 = 44Ж_k + CO_2^{и.в}, \quad (6.46)$$

где $Ж_k$ – карбонатная жесткость исходной воды, мг · экв./кг; $CO_2^{и.в}$ – концентрация растворенной свободной углекислоты в исходной воде, мг/кг.

$$CO_2^{и.в} = CO_2^{таб} \alpha, \quad (6.47)$$

где $CO_2^{таб}$ – концентрация свободной углекислоты, определяемая по номограмме в рис. П.13.1; α – поправочный коэффициент на сухой остаток исходной воды.

Количество углекислоты, подлежащей удалению в декарбонизаторе, кг/ч:

$$G = Q_H^r (CO_2 - CO_2^{о.в}), \quad (6.48)$$

где $CO_2^{о.в}$ – концентрация углекислоты в декарбонизированной воде, принять 0,005 кг/м³.

Поверхность насадки из колец Рашига, м²:

$$F = \frac{G}{k_{ж} \Delta c_{cp}}, \quad (6.49)$$

где $k_{\text{ж}}$ – коэффициент десорбции углекислоты, определяется для 20 °С по графику в рис. П.13.2; $\Delta c_{\text{ср}}$ – средняя движущая сила десорбции, определить по графику в рис. П.13.3.

Объем колец Рашига, м^3 :

$$V_{\text{к.р}} = \frac{F}{204}, \quad (6.50)$$

где 204 – поверхность насадки из колец Рашига $25 \times 25 \times 3$ при беспорядочной загрузке, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Площадь поперечного сечения декарбонизатора, м^2 :

$$f = \frac{Q}{60}, \quad (6.51)$$

где Q – производительность декарбонизатора, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Диаметр декарбонизатора, м:

$$D = \sqrt{\frac{4f}{3,14}}. \quad (6.52)$$

Высота слоя насадки из колец Рашига, м:

$$h = \frac{V_{\text{к.р}}}{f}. \quad (6.53)$$

6.4. Осветлительные фильтры

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

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

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

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

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

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

Расчет фильтров выполняют исходя из производительности, учитывающей расход осветленной воды на собственные нужды всех установленных фильтров. Основные технологические данные, необходимые для расчета фильтров, приведены в Приложении 14.

Общую площадь фильтрования, m^2 , приближенно определяют по формуле

$$F = \frac{Qa}{\omega_n}, \quad (6.54)$$

где Q – производительность фильтров по осветленной воде, $m^3/ч$; a – коэффициент, учитывающий расход осветленной воды на собственные нужды осветлительных фильтров; для фильтров, промываемых осветленной водой и загруженных антрацитом, в зависимости от числа промывок в сутки (1–2 раза), коэффициент принимают равным $a = 1,03–1,1$; ω_n – скорость фильтрования при нормальном режиме работы фильтров, принимают по Приложению 14.

Расчетную площадь фильтрования, m^2 , каждого фильтра определяют путем подбора по формуле

$$f' = \frac{F}{n-1}, \quad (6.55)$$

где n – число фильтров, подставляют начиная с наименьшего значения, равного 2; полученное значение площади фильтрования одного фильтра округляют в сторону увеличения в соответствии с серийно выпускаемыми заводами фильтрами по данным табл. 6.1.

Расчетную скорость фильтрования, м/ч, при нормальном режиме работы фильтров определяют по формуле

$$\omega_n = \frac{Q+q}{f(n-1)}, \quad (6.56)$$

где q – среднечасовой расход воды на собственные нужды осветлительных фильтров, м³/ч, определяют по формуле

$$q = \frac{drn}{24}, \quad (6.57)$$

где d – расход воды на одну промывку фильтра, м³; при взрыхляющей промывке осветленной водой принимают по табл. 6.2; r – число промывок каждого фильтра в сутки, принимают 1–2 раза в сутки; n – число принятых фильтров; 1 – число фильтров, находящихся в промывке.

Таблица 6.1

Площадь фильтрования стандартных фильтров, f

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

Таблица 6.2

Расчетные показатели для взрыхления однопоточных антрацитных осветлительных фильтров

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

Расчетную скорость фильтрования, м/ч, при форсированном режиме определяют по формуле

$$\omega_{\phi} = \frac{Q+q}{f(n-2)}, \quad (6.58)$$

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

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

6.5. Осветлители

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

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

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

Количество шлама, образующегося при коагуляции с применением сернокислого алюминия, г/м^3 , приближенно определяют по формуле

$$Q_{\text{ш}}^{\text{н}} = B + 26D_{\text{а}} + \frac{111\alpha D_{\text{а}}}{100}, \quad (6.59)$$

где $Q_{\text{ш}}^{\text{н}}$ – количество шлама, образующегося при коагуляции воды, г/м^3 ; B – количество взвешенных веществ в исходной воде, г/м^3 ; $D_{\text{а}}$ – доза коагулянта – сернокислого алюминия в обрабатываемую воду, $\text{г} \cdot \text{экв./м}^3$; α – количество нерастворенных примесей в коагулянте, %.

Количество шлама, образующегося при известковании и коагуляции воды с применением сернокислого железа, г/м^3 , определяют по формуле

$$Q_{\text{ш}}^{\text{H}} = B + 50[\text{Ж}_{\text{Ca}} + (1 + 0,56\alpha_{\text{H}})D_{\text{K}}] + 53D_{\text{K}} + 29\text{Ж}_{\text{Mg}}, \quad (6.60)$$

где $Q_{\text{ш}}^{\text{H}}$ – количество шлама, образующегося при обработке воды по схеме известкования с коагуляцией, г/м³; Ж_{Ca} – кальциевая жесткость, удаляемая известкованием, мг · экв./кг; D_{K} – доза коагулянта – сернокислого железа (FeSO_4), мг · экв./кг; Ж_{Mg} – магниевая жесткость, удаляемая известкованием, мг · экв./кг; осаждение магния предусматривают, если $\text{HCO}_3 > \text{Ж}_{\text{Ca}}$.

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

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

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

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

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

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

В схемах коагуляции воды

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

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

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

В схемах известкования воды

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

$$\alpha_m = 58 \frac{\text{Щ}_{\text{и.в}} \text{Ж}_{\text{Ca}}}{2\text{Щ}_{\text{и.в}} + \text{CO}_2 + D_k - \text{Ж}_{\text{Ca}}^{\text{ост}}}, \quad (6.61)$$

где $\text{Щ}_{\text{и.в}}$ – щелочность исходной воды, мг · экв./кг; CO_2 – количество свободной углекислоты в исходной воде, мг · экв./кг; Ж_{Ca} и $\text{Ж}_{\text{Ca}}^{\text{ост}}$ – кальциевая жесткость, соответственно, исходной и обработанной воды, мг · экв./кг.

При известковании расчетная скорость движения воды в зоне осветления при оптимальной температуре 25–30 °С принимается, по данным ЦНИИ МПС, в зависимости от α_m , наличия или отсутствия коагуляции и общего количества выделяющегося шлама $Q_{\text{ш}}^{\text{и}}$ (табл. 6.3).

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

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

Расчетная скорость движения воды в зоне осветления

| Расчетная скорость, мм/с | $Q_{ш}''$ | α_m | Схема обработки |
|--------------------------|-----------|------------|--------------------------|
| 1,7 | 0,5 | 0,1 | Коагуляция-известкование |
| 1,07 | 0,5 | 0,3 | Коагуляция-известкование |
| 1,47 | 2,0 | 0,1 | Коагуляция-известкование |
| 0,9 | 2,0 | 0,3 | Коагуляция-известкование |
| 1,95 | 0,5 | 0,1 | Известкование |
| 1,1 | 0,5 | 0,3 | Известкование |
| 1,7 | 2,0 | 0,1 | Известкование |
| 0,85 | 2,0 | 0,3 | Известкование |

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

Величину продувки осветлителя, %, определяют по формуле

$$P = \frac{Q_{ш}'' - Q_{о.в.}}{1000 \delta_{ср}} 100 \%, \quad (6.62)$$

где P – величина продувки осветлителя, % от производительности осветлителя; $Q_{ш}''$ – количество взвешенных веществ, вносимых с обрабатываемой водой реагентами и образующихся в процессе осветления или умягчения, определяют по формулам (6.59) и (6.60), г/м³; $Q_{о.в.}$ – остаточное содержание взвешенных веществ в обработанной воде после осветлителя, г/м³; $\delta_{ср}$ – средняя концентрация взвешенных веществ в уплотненном осадке в зависимости от времени отстоя воды, принимают по табл. 6.4, г/кг.

Количество воды, подаваемой на осветлитель, м³/ч:

$$Q = Q_{осв} + \frac{P Q_{осв}}{100}, \quad (6.63)$$

где Q – количество воды, подаваемое на осветлитель, м³/ч, с учетом собственных нужд осветлителя; $Q_{осв}$ – производительность осветлителя (количество выдаваемой осветлителем воды), м³/ч.

Таблица 6.4

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

| Характеристика осадка | Продолжительность уплотнения, ч | | | | | |
|---|---------------------------------|----|------|----|----|----|
| | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 12 |
| Осадок, образующийся при коагуляции воды с содержанием взвешенных веществ, мг/кг: | | | | | | |
| 100–400 | 16 | 19 | 22,5 | 24 | 25 | 27 |
| 400–1000 | 0 | 24 | 25 | 27 | 29 | 31 |
| выше 1000 | 24 | 29 | 31 | 33 | 35 | 37 |
| Осадок, образующийся при известковании воды: | | | | | | |
| с малой (до 25 %) магниальной жесткостью | 30 | 35 | 37 | 39 | 40 | 41 |
| с высокой магниальной жесткостью | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 | 17 |

ЛИТЕРАТУРА

1. Водоподготовка, водный режим и химический контроль на паросиловых установках : справочник / под общ. ред. М. С. Шкроба, В. И. Вульфсона. – М. : Энергия, 1966. – 160 с.
2. Лифшиц, О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок малой мощности / О. В. Лифшиц. – М. : Энергия, 1969. – 144 с.
3. Шкроб, М. С. Водоподготовка / М. С. Шкроб, В. Ф. Вихрев. – М. : Энергия, 1986. – 246 с.
4. Кострикин, Ю. М. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления / Ю. М. Кострикин, Н. А. Мещерский, О. В. Коровина. – М., 1990.
5. Стерман, Л. С. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС / Л. С. Стерман, В. Н. Покровский. – М., 1991.
6. Практическое руководство по проведению практических занятий и выполнению расчетно-графической работы по курсу «Водоподготовка» для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности Т.01.02.00 «Теплоэнергетика». – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2001. – 50 с.
7. Копылов, А. С. Водоподготовка в энергетике / А. С. Копылов, В. М. Лаврыгин, В. Ф. Очков. – М., 2003.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица П.1.1

Характеристики котельной и состав воды

| № варианта | Тип котлов | Количество котлов | Взвешенные вещества, мг/кг | Сухой остаток, мг/кг |
|------------|----------------|-------------------|----------------------------|----------------------|
| 1 | ДЕ-10 | 4 | 41,6 | 400 |
| 2 | ДЕ-10 + ДЕ-14 | 2 + 1 | 50,0 | 450 |
| 3 | ДЕ-14 | 3 | – | 420 |
| 4 | ДЕ-6,5 | 3 | – | 480 |
| 5 | ДЕ-6,5 + ДЕ-10 | 1 + 2 | 62,4 | 450 |
| 6 | ДЕ-14 + ДЕ-6,5 | 1 + 2 | – | 430 |
| 7 | ДЕ-6,5 | 1 | 18,0 | 475 |
| 8 | ДЕ-20 + ДЕ-6,5 | 1 + 1 | – | 425 |
| 9 | ДЕ-20 | 2 | 2,6 | 470 |
| 10 | ДЕ-10 | 1 | 10,4 | 455 |
| 11 | ДЕ-6,5 | 4 | 14,0 | 440 |
| 12 | ДЕ-6,5 + ДЕ-10 | 2 + 1 | – | 435 |
| 13 | ДЕ-6,5 + ДЕ-20 | 2 + 2 | – | 410 |
| 14 | ДЕ-14 | 2 | 34,0 | 415 |
| 15 | ДЕ-6,5 + ДЕ-10 | 1 + 1 | 61,9 | 490 |
| 16 | ДЕ-10 + ДЕ-20 | 2 + 2 | 17,8 | 495 |
| 17 | ДЕ-6,5 | 2 | 41,5 | 480 |
| 18 | ДЕ-10 | 2 | 62,8 | 485 |

Приложение 2

Таблица П.2.1

Концентрация ионов растворенных веществ в воде

| № варианта | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | SO ₄ ⁻² | Cl ⁻ | Жесткость общая | Жесткость карбонатная | Жесткость некарбонатная |
|------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 | 60,0 | 9,7 | 22,8 | 57,4 | 35,0 | 3,8 | 2,6 | 1,2 |
| 2 | 47,2 | 13,6 | 3,7 | 12,6 | 3,7 | 3,2 | 3,0 | 0,2 |
| 3 | 120,0 | 16,8 | 6,9 | 93,2 | 7,1 | 6,84 | 4,34 | 2,5 |
| 4 | 59,1 | 15,0 | 8,6 | 25,6 | 15,8 | 3,82 | 3,08 | 0,74 |
| 5 | 91,8 | 16,8 | 7,8 | 81,0 | 22,0 | 5,97 | 4,0 | 1,97 |

Окончание табл. П.2.1

| № варианта | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | SO ₄ ⁻² | СГ | Жесткость общая | Жесткость карбонатная | Жесткость некарбонатная |
|------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| 6 | 84,0 | 7,3 | 10,7 | 48,0 | 38,0 | 4,8 | 3,2 | 1,6 |
| 7 | 56,4 | 16,8 | 10,4 | 8,9 | 13,0 | 4,2 | 4,1 | 0,1 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 8 | 60,8 | 15,8 | – | 13,5 | 25,5 | 4,3 | 3,3 | 1,0 |
| 9 | 36,96 | 9,1 | – | 10,1 | 3,2 | 2,6 | 2,3 | 0,3 |
| 10 | 56,1 | 15,8 | 2,25 | 97,7 | 2,4 | 4,1 | 2,1 | 2,0 |
| 11 | 51,9 | 10,7 | 6,1 | 15,0 | 4,9 | 4,29 | 3,43 | 0,86 |
| 12 | 78,0 | 6,2 | 8,6 | 29,7 | 15,8 | 5,1 | 2,6 | 2,5 |
| 13 | 44,2 | 84,3 | 27,0 | 6,1 | 3,9 | 0,55 | 0,45 | 0,1 |
| 14 | 80,5 | 5,9 | 10,2 | 10,7 | 17,3 | 6,2 | 5,41 | 0,79 |
| 15 | 89,2 | 14,6 | 7,9 | 78,9 | 21,7 | 4,95 | 3,8 | 1,15 |
| 16 | 52,91 | 16,2 | 8,95 | 8,4 | 12,8 | 4,8 | 2,9 | 1,9 |
| 17 | 58,0 | 9,4 | 23,1 | 56,2 | 27,1 | 3,2 | 2,8 | 0,4 |
| 18 | 91,2 | 16,4 | 8,0 | 81,3 | 22,2 | 5,96 | 3,8 | 2,16 |

Приложение 3

Таблица П.3.1

Нормы качества питательной воды для паровых котлов

| Тип котлов | Жесткость общая, мг · экв./кг | Растворенный кислород, мг/кг | | Содержание железа, мг/кг | Содержание масла, мг/кг |
|---|-------------------------------|---|--|--------------------------|-------------------------|
| | | для котлов без экономайзеров или с чугунными экономайзерами | для котлов со стальными экономайзерами | | |
| Газотрубные и жаротрубные | 0,03–0,5 | Не нормируется | – | – | – |
| Чугунные секционные | 0,3 | – | – | – | – |
| Водотрубные неэкранированные при давлении менее 14 атм. | 0,03 | 0,1 | 0,03 | 0,2 | 5,0 |
| Водотрубные экранированные при давлении менее 14 атм. | 0,02 | 0,1 | 0,03 | 0,2 | 5,0 |

Окончание табл. П.3.1

| Тип котлов | Жесткость общая, мг · экв./кг | Растворенный кислород, мг/кг | | Содержание железа, мг/кг | Содержание масла, мг/кг |
|---|-------------------------------------|--|--|--------------------------------|-------------------------------|
| | | для котлов без эконо- майзеров или чугунными экономайзе- рами | для котлов со сталь- ными экономай- зерами | | |
| Водотрубные с газомазутными топками при давлении менее 14 атм. | 0,02 | 0,1 | 0,03 | 0,2 | 5,0 |
| Водотрубные с естественной циркуляцией при давлении менее 40 атм. | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 1,0 |

Приложение 4

Таблица П.4.1

Нормируемое солесодержание пара

| Давление пара, атм. | Солесодержание пара, мг/кг |
|---------------------|----------------------------|
| до 13 | 1,0 |
| 13–20 | 0,5 |
| 20–40 | 0,3 |

Приложение 5

Таблица П.5.1

Сухой остаток котловой воды для котлов ДКВР

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

Приложение 6

Таблица П.6.1

Сухой остаток продувочной воды

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

Приложение 7

Таблица П.7.1

Нормы качества воды для подпитки тепловых сетей

| Показатели | Открытая система теплоснабжения | | | | Закрытая система теплоснабжения | | | |
|----------------------------------|---|-------|---------------------------------|-------|---|-----|---------------------------------|------|
| | при подогревателях с латунными трубками | | при стальных водогрейных котлах | | при подогревателях с латунными трубками | | при стальных водогрейных котлах | |
| | Температура подогрева воды, °С | | | | | | | |
| | до 100 | 150 | до 100 | 150 | до 100 | 150 | до 100 | 150 |
| Растворенный кислород, мг/кг | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,05 |
| Концентрация водородных ионов рН | 7–8,5 | 7–8,5 | 7–8,5 | 7–8,5 | 7–9 | 7–9 | 7–9 | 7–9 |

Нормы качества воды для подпитки тепловых сетей

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

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

Приложение 8

Таблица П.8.1

Технологические данные для расчета натрий-катионитных фильтров

| Показатели | Размерность | Фильтры первой ступени | Фильтры второй ступени |
|--|-------------|------------------------|------------------------|
| Высота слоя катионита | м | 2–2,5 | 1,5 |
| Крупность зерен катионита | мм | 0,5–1,1 | 0,5–1,1 |
| Скорость фильтрования нормальная, в скобках максимальная (при регенерации одного из фильтров) при жесткости, мг · экв./кг: | | | |
| до 5 | м/ч | 25 (35) | 40 (50) |
| до 10 | м/ч | 15 (25) | – |
| до 15 | м/ч | 10 (20) | – |

Продолжение табл. П.8.1

| Показатели | Размерность | Фильтры первой ступени | Фильтры второй ступени |
|--|--------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Потери напора на фильтрах при скорости фильтрования (в скобках – при загрузке мелкого катионита с крупностью зерен 0,3–0,8 мм), м/ч: | | | |
| 10 | м вод. ст. | 5 (6) | – |
| 20 | м вод. ст. | 5 (7) | – |
| 30 | м вод. ст. | 6 (9) | – |
| 40 | м вод. ст. | 7 (11) | 13 |
| 60 | м вод. ст. | 9 (14) | 14 |
| Взрыхляющая промывка катионита: | | | |
| – интенсивность | л/м ² · с | 4* | 4 |
| – продолжительность | мин | 15 | 15 |
| Удельный расход поваренной соли на регенерацию сульфогля при жесткости обрабатываемой воды, мг · экв./кг: | | | |
| до 5 | г/г · экв. | 120–150 | 300–400 |
| до 10 | г/г · экв. | 120–200 | |
| до 15 | г/г · экв. | 170–250 | |
| до 20 | г/г · экв. | 200–250 | |
| Крепость регенерационного раствора | % | 5–8 | 8–12 |
| Скорость пропуска регенерационного раствора | м/ч | 3–4 | 3–5 |
| Рабочая обменная способность сульфогля | г · экв./м ³ | По формуле или по табл. | |
| Отмывка катионита от продуктов регенерации: | | | |
| а) скорость пропуска отмывочной воды через катионит | м/ч | 6–8 | 6–8 |
| б) удельный расход отмывочной воды | м ³ /м ³ | 4 | 4 |
| Общий удельный расход воды на регенерацию сульфогля: | | | |
| а) без использования отмывочной воды на взрыхление | м ³ /м ³ | 5,8 | 6,5 |
| б) с использованием отмывочной воды на взрыхление | м ³ /м ³ | 5,0 | 5,0 |

Окончание табл. П.8.1

| Показатели | Размерность | Фильтры первой ступени | Фильтры второй ступени |
|--|-------------|------------------------|------------------------|
| Общая длительность регенерации фильтра | ч | 2 | 2 |

*Интенсивность взрыхления 3 л/м²·с принимается при загрузке мелкого катионита с крупностью зерен 0,3–0,8 мм.

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

Приложение 9

Таблица П.9.1

Коэффициент эффективности регенерации катионита

| | | | | | | |
|--|------------|------|------|------|------|------|
| Удельный расход соли на регенерацию катионита, г/г · экв. обменной способности | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 |
| | α_3 | 0,67 | 0,69 | 0,72 | 0,74 | 0,75 |
| Удельный расход соли на регенерацию катионита, г/г · экв. обменной способности | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 |
| | α_3 | 0,78 | 0,80 | 0,81 | 0,82 | 0,83 |
| Удельный расход соли на регенерацию катионита, г/г · экв. обменной способности | 240 | 250 | 260 | 270 | 280 | 290 |
| | α_3 | 0,85 | 0,87 | 0,87 | 0,88 | 0,88 |
| Удельный расход соли на регенерацию катионита, г/г · экв. обменной способности | 300 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 |
| | α_3 | 0,90 | 0,91 | 0,92 | 0,92 | 0,93 |

Приложение 10

Таблица П.10.1

Рабочая обменная способность катионита при натрий-катионировании, г · экв./м³

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

Приложение 11

Таблица П.11.1

Коэффициент снижения обменной способности катионита

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| $\frac{C_{Na}^2}{Ж_0}$ | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| β_{Na} | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,89 | 0,88 | 0,87 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,83 | 0,8 | 0,77 | 0,73 | 0,7 |
| $\frac{C_{Na}^2}{Ж_0}$ | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| β_{Na} | 0,69 | 0,68 | 0,67 | 0,66 | 0,65 | 0,62 | 0,60 | 0,57 | 0,54 | 0,53 | 0,2 | 0,2 | 0,51 | 0,50 |

Приложение 12

Таблица П.12.1

Технологические данные для расчета водород-катионитных фильтров

| Показатель | Нормативные данные при водород-катионировании | | |
|---|---|---------------|--------------------------|
| | обычном | противоточном | ступенчато-противоточном |
| Высота слоя катионита, м | До 2,5 | До 3,3 | – |
| Допустимая скорость фильтрации, м/ч | От 4 до 30 | | |
| Рекомендуемая нормальная скорость фильтрования, м/ч, в скобках максимальная (при регенерации одного из фильтров), при жесткости обрабатываемой воды, мг-экв./л: до 5 до 10 до 15 | 20 (30) 15 (25) 10 (20) | | |
| Количество устанавливаемых фильтров, шт.: работающих резервных | Не менее 3 1 | | |
| Количество регенераций каждого (кроме резервного) фильтра в сутки при наименее благоприятном качестве воды (в зависимости от степени автоматизации, производительности и марки катионита) | Не менее 1 и не более 3 | | |
| Продолжительность взрыхления катионита, мин | 15–30 | | |
| Регенерация катионита: удельный расход серной кислоты, г/г экв. | В зависимости от схемы водород-катионирования | | |
| концентрация раствора, % при загрузке: | 1,5–2,0 | | |
| сульфоуглем | Нарастающей концентрации | | |
| катионитом КУ-2 | 1–3–6 | | |
| скорость пропуска раствора, м/ч. | 10 | | |

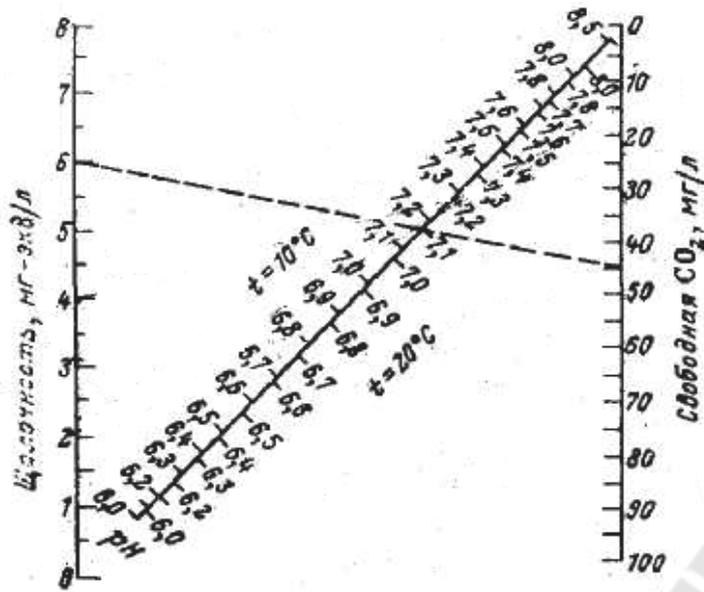


Рис. П.13.1. Номограмма для определения в воде свободной углекислоты

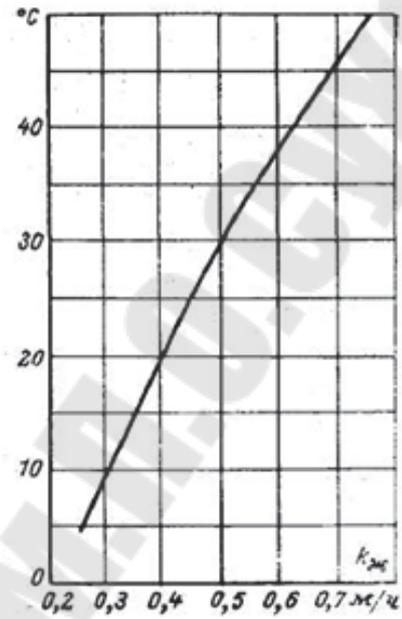


Рис. П.13.2. График зависимости коэффициента десорбции от температуры

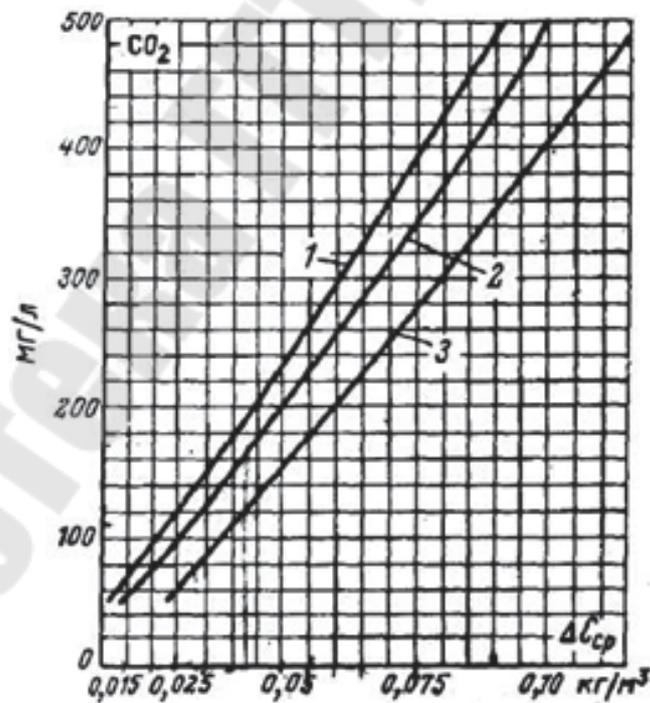


Рис. П.13.3. График определения средней движущей силы десорбции

Приложение 14

Таблица П.14.1

Технологические данные для расчета осветлительных фильтров

| Показатели | Типы фильтров | |
|--|-------------------------------|--|
| | фильтр с загрузкой антрацитом | фильтр с двухслойной загрузкой – песком и антрацитом |
| Диаметр зерен загрузочного материала, мм: | | |
| – антрацит | 0,5–1,2 | 0,8–1,8 |
| – кварцевый песок | – | 0,5–1,2 |
| Высота фильтрующего слоя, м: | | |
| – антрацит | 1 | 0,4–0,5 |
| – кварцевый песок | – | 0,4–0,5 |
| Насыпной вес фильтрующего материала, т/м ³ : | | |
| – антрацит | 0,8 | 0,8 |
| – кварцевый песок | – | 1,6 |
| Расчетная скорость фильтрования, м/ч: | | |
| – нормальный режим | 6 | 10 |
| – форсированный режим | 7,5 | 12 |
| Интенсивность взрыхляющей промывки водой, л/с · м ² | 10–12 | 13–15 |
| Продолжительность взрыхляющей промывки водой, мин | 6–5 | 7–6 |
| Расход осветленной воды на одну промывку, м ³ /м ² | 3,6 | 5,4 |
| Интенсивность взрыхляющей промывки воздухом, л/с · м ² | 12 | 20 |
| Продолжительность взрыхляющей промывки воздухом, мин | 3 | 3 |
| Расход воздуха на одну промывку, м ³ /м ² | 2,2 | 3,6 |
| Давление воздуха, кгс/см ² | 3–4 | 3–4 |

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

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 3 |
| 1. Перерасчет показателей качества исходной воды..... | 4 |
| 2. Нормы качества воды и пара..... | 4 |
| 2.1. Нормы качества питательной воды и пара..... | 4 |
| 2.2. Нормы качества котловой воды..... | 5 |
| 2.3. Нормы качества воды для подпитки тепловых сетей..... | 6 |
| 3. Выбор схем обработки воды..... | 7 |
| 3.1. Расчетный метод выбора схем обработки воды..... | 7 |
| 3.2. Технологические схемы умягчения воды и области их применения..... | 10 |
| 3.3. Выбор схемы водоподготовительной установки..... | 14 |
| 4. Паровой баланс котельной..... | 17 |
| 5. Производительность водоподготовительной установки..... | 17 |
| 6. Расчет основного оборудования водоподготовительных установок..... | 18 |
| 6.1. Натрий-катионитные фильтры..... | 18 |
| 6.1.1. Na-катионитные фильтры второй ступени..... | 19 |
| 6.1.2. Na-катионитные фильтры первой ступени..... | 21 |
| 6.2. Водород-катионитные фильтры..... | 24 |
| 6.3. Декарбонизатор..... | 27 |
| 6.4. Осветлительные фильтры..... | 28 |
| 6.5. Осветлители..... | 31 |
| Литература..... | 36 |
| Приложения..... | 37 |

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНЫЙ РЕЖИМ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Практикум

**по одноименному курсу для студентов
специальностей 1-43 01 05 «Промышленная
теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая
эксплуатация энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Составители: **Овсянник** Наталья Владимировна
Степанишина Юлия Александровна
Макеева Екатерина Николаевна

Электронный аналог печатного издания

Редактор
Компьютерная верстка

А. В. Власов
Н. Б. Козловская

Подписано в печать 06.05.16.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 3,14.

Изд. № 51.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48