**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и технической оценки соответствия в строительстве»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ

Москва 2020

gost.e-ecolog.ru

Содержание

1 Область применения....1
2 Нормативные ссылки....2
3 Термины и определения....3
4 Общие положения....4
4.1 Показатели качества воды....4
4.2 Общие требования....8
4.3 Методы обработки воды....12
4.4 Механические методы....12
4.5 Физико-технические методы....14
4.6 Ионообменное умягчение....14
4.7 Мембранное разделение....18
4.8 Химические методы очистки....19
4.9 Деаэрация....19
4.10 Магнитный метод....20
5 Требования к схемным решениям по обработке воды в зависимости от качества исходной воды и требований к водно-химическому режиму различных типов котлов....21
5.1 Общие требования к схемным решениям....21
5.2 Паровые котлы с давлением пара от 0,07 до 4,0 МПа....22
5.3 Водогрейные котлы с температурой нагрева от 115 °С и выше....25
5.4 Водогрейные котлы с температурой нагрева до 115 °С и паровые котлы с рабочим давлением до 0,07 МПа....26
5.5 Тепловые сети....27
6 Требования к объемно-планировочным решениям по размещению оборудования водоподготовки, включая помещения хранения реагентов....31
7 Требования к конструктивным решениям согласно разработанным схемам и объемно-планировочным решениям....35
8 Контроль водно-химического режима....36
9 Методика расчета установки химводоподготовки....37
9.1 Алгоритм расчета напорных засыпных фильтров....37
9.2 Алгоритм расчета схемы подготовки воды при использовании ионообменных фильтров....39

Приложение А Требования к качеству питательной воды для паровых газотрубных котлов 53
Приложение Б Нормы качества питательной воды для водотрубных котлов с естественной циркуляцией с рабочим давлением пара до 4 МПа.....54
Приложение В Нормы качества питательной воды для водотрубных котлов с естественной циркуляцией с рабочим давлением пара до 10 МПа.....55
Библиография.....56

Введение

Настоящие методические указания разработаны в развитие положений СП 89.13330 для реализации проектировщиками требований, заложенных в строительных нормах и правилах, и выполнения более грамотного и рационального проектирования систем водно-химической обработки воды для систем первичного и вторичного контуров теплоснабжения.

Основная масса котельных, расположенных в населенных пунктах, а также на производственных площадках в Российской Федерации, подключена к сетям централизованного водоснабжения, которые имеют предварительную очистку и обработку воды, выполненную в соответствии с требованиями СП 31.13330. Настоящими методическими указаниями в качестве исходной воды для котельных рассматривается очищенная и подготовленная вода:

- вода питьевого качества централизованных систем водоснабжения;
- вода питьевого качества нецентрализованного водоснабжения;
- техническая вода.

Использование в теплоэнергетике исходной воды без предварительной обработки неизбежно приводит к образованию накипи на теплопередающих поверхностях оборудования и трубопроводов, что в свою очередь приводит к перерасходу топлива, перегреванию и деформации металла, снижению эксплуатационно-технических характеристик оборудования, а зачастую может привести к тяжелым авариям.

Борьба с накипью осуществляется в основном двумя способами:

- удалением накипеобразователей до поступления воды в теплоагрегаты – предварительная обработка воды методами химико-технологической очистки (обработка в ионообменных фильтрах и др.);
- созданием специальных условий, при которых в теплоагрегатах образуется шлам – внутрикотловая обработка, заключающаяся в дополнительной присадке в котлы некоторых химических реагентов.

В настоящих методических указаниях представлены различные методы и схемы обработки воды, рекомендации по выбору схем и их применению в зависимости от качества исходной воды и требований, предъявляемых к обработанной воде. Даны методы расчета водоподготовительных установок и оборудования.

Настоящие методические указания предназначены для специалистов и руководителей проектно-изыскательских и строительных организаций, учреждений и служб заказчика (инвестора) и других заинтересованных организаций в целях обеспечения их организационно-техническими материалами, которые позволяют разрабатывать и применять высокоэффективные проектные решения при строительстве котельных, обеспечивающие качество и конкурентоспособность этих объектов.

Применение настоящих методических указаний:

- дает проектировщику механизм реализации требований по безопасности, заложенных в строительных нормах и правилах, для более грамотного и рационального проектирования систем водно-химической обработки воды для систем первичного и вторичного контуров теплоснабжения;

- позволяет повысить качество выполняемых проектных работ за счет использования единых практических подходов к выполнению работ на основе унифицированных решений;

- является основой для проведения независимых экспертных оценок выполненных работ, что обеспечивает снижение рисков возникновения аварийных ситуаций и повышение безопасной эксплуатации объектов и сооружений теплоснабжения.

Настоящие методические указания разработаны авторским коллективом ООО «СанТехПроект» (руководитель – канд. техн. наук *А.Я. Шарипов*, *А.С. Богаченкова*, *Н.А. Александрович*, *И.Д. Монастыренко*), ПКБ ООО «Теплоэнергетика» (канд. техн. наук *Е.Л. Палей*), ООО «Невский Альянс» (*И.А. Зюзин*, *С.В. Смирнов*, *Е.Г. Кузьмина*).

1 Область применения

Настоящие методические указания распространяются на проектирование и строительство котельных, расположенных в населенных пунктах, а также на производственных площадках в Российской Федерации, и подключенных к сетям централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, имеющих предварительную очистку и обработку воды, обеспечивающую соответствие качества воды требованиям СП 31.13330.

Настоящие методические указания разработаны в развитие положений:

- раздела «12 Водоподготовка и водно-химический режим» СП 89.13330.2016;

- раздела «7 Водоподготовка и водно-химический режим» СП 373.1325800.2018;

- раздела «7 Требования к организации водно-химического режима» СП 281.1325800.2016;

- обязательного приложения Е «Требования к качеству сетевой и подпиточной воды тепловых сетей» СП 124.13330.2012.

Использование настоящих методических указаний при разработке проектной и рабочей документации позволит:

- правильно выбрать технологическую схему химводоподготовки (ХВП) для котельных и тепловых сетей;

- рассчитать и подобрать необходимое оборудование;

- рассчитать режим работы ХВП;

- определить планировку размещения оборудования ХВП и помещений для хранения реагентов;

- определить возможность работы системы ХВП без постоянного присутствия обслуживающего персонала и (или) необходимость присутствия обслуживающего персонала в зависимости от принятой схемы подготовки воды и рекомендаций предприятий – изготовителей выбранного

оборудования.

Настоящие методические указания не распространяются на проектирование и строительство теплоэлектростанций (ТЭС), теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), пиковых котельных, которые должны проектироваться по требованиям нормативных документов федерального органа исполнительной власти, осуществляющего функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере топливно-энергетического комплекса.

2 Нормативные ссылки

В настоящих методических указаниях использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 2761–84 Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора

ГОСТ 9941–81 Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия

ГОСТ21563–2016 Котлы водогрейные. Общие технические требования

ГОСТ Р 51232–98 Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества

ГОСТ Р 57164–2016 Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности

СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с изменением № 1)

СП 31.13330.2012 «СНиП 2.04.02-84* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» (с изменениями № 1, № 2, № 3, № 4, № 5)

СП 89.13330.2016 «СНиП II-35-76 Котельные установки»

СП 124.13330.2012 «СНиП 41-02-2003 Тепловые сети» (с изменением № 1)

СП 281.1325800.2016 Установки теплогенераторные мощностью до 360 кВт, интегрированные в здания. Правила проектирования и устройства

СП 373.1325800.2018 Источники теплоснабжения автономные. Правила проектирования

СанПиН 2.1.4.1074–01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения

СанПиН 2.1.4.2496–09 Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Изменение к СанПиН 2.1.4.1074–01

СанПиН 2.1.4.2652–10 Гигиенические требования безопасности материалов, реагентов, оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки. Изменение № 3 в СанПиН 2.1.4.1074–01

Примечание – При пользовании настоящими методическими указаниями целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящих методических указаний в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящих методических указаниях применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **взвешенные вещества:** Количество мелкодисперсных, не растворенных в воде веществ в виде глинистой суспензии, частиц песка, в котловой и обрабатываемой воде – в виде шлама, содержащего плохо растворимые вещества $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$, $Fe(OH)_2$ и др.

3.2 **жесткость воды:** Показатель, определяющий содержание в воде катионов накипеобразователей – кальция и магния.

3.3 **ионообменная способность:** Способность наполнителя фильтров ХВП поглощать ионы труднорастворимых веществ.

3.4 **обратный осмос:** Процесс разделения водной среды на полупроницаемых мембранах, при котором селективность по растворенным в воде солям обеспечивается на уровне от 95 % до 99,8 %.

3.5 **общая щелочность** $Щ_о$: Сумма концентраций всех анионов слабых кислот и ионов гидроксила.

3.6 **растворенный кислород:** Косвенный показатель наличия органических веществ, присутствующих в природных водах в виде различных коллоидных соединений.

3.7 **сухой остаток:** Количество взвешенных частиц, оставшихся после выпаривания котловой воды.

3.8 **удельная электрическая проводимость воды:** Инструментально определяемая косвенная характеристика минерализации воды.

4 Общие положения

4.1 Показатели качества воды

Пригодность воды для энергетических целей и выбор соответствующих методов обработки могут быть решены при наличии полного анализа воды с определением следующих показателей:

Общая жесткость $Ж_о$ – суммарная концентрация в воде катионов Ca^{2+} (кальциевая жесткость) и магния Mg^{2+} (магниевая жесткость), выраженная в градусах жесткости (°Ж).

1°Ж = 1 мг-экв/дм^3.

Для пересчета концентрации кальция и магния в миллиграммах на кубический дециметр (мг/дм^3), миллиграмм-эквивалентах на кубический дециметр (мг-экв/дм^3) их значения делят на эквивалентные массы этих катионов, т.е. используют следующие соотношения:

1 мг-экв/дм^3 жесткости = 20,04 мг/дм^3 Ca^{2+} (кальциевая жесткость) и магния;

1 мг-экв/дм^3 жесткости = 12,15 мг/дм^3 Mg^{2+}.

Общая жесткость $Ж_о$ может быть представлена суммой карбонатной $Ж_к$ и некарбонатной $Ж_{нк}$ составляющих либо суммой кальциевой $Ж_{Ca}$ и магниевой $Ж_{Mg}$ жесткостей:

$$Ж_о = Ж_к + Ж_{нк} = Ж_{Ca} + Ж_{Mg}.$$

Карбонатная жесткость $Ж_к$ обусловлена присутствием в воде бикарбонатов кальция и магния: $Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$. Карбонатную жесткость называют временной, так как в процессе работы котла она уменьшается. Это вызывается тем, что бикарбонаты при нагреве воды разлагаются и образуют нерастворимые соли, которые скапливаются на поверхности нагрева (накипь). Например, растворенный в воде бикарбонат кальция $Ca(HCO_3)_2$ при нагревании и кипении воды образует карбонат кальция $CaCO_3$, образующий отложения на поверхности нагрева, при этом выделяется углекислота (вызывает углекислотную коррозию).

Некарбонатная жесткость $Ж_{нк}$ обусловливается другими солями кальция и магния, которые при нагреве воды химически не изменяются и остаются растворенными, пока их концентрация не превышает предела растворимости. К этой группе относятся хлориды, сульфаты, силикаты, нитраты кальция и магния. Некарбонатную жесткость называют постоянной.

Общая щелочность $Щ_о$ обусловливается прежде всего присутствием в воде ионов OH^- CO_3^{2-}, HCO_3^-, PO_4^{3-}. Единицы измерения – мг-экв/дм^3.

В зависимости от того, какой вид ионов присутствует в воде, щелочность называют соответственно гидратной $Щ_г$ (OH^-), карбонатной $Щ_к$ (CO_3^{2}), бикарбонатной $Щ_{бк}$ (HCO_3^-), фосфатной $Щ_Ф$ (PO_4^{3-}).

Общая щелочность равна их сумме:

$$Щ_о = Щ_г + Щ_к + Щ_{бк} + Щ_ф.$$

Растворенный кислород – косвенный показатель наличия органических веществ, которые непосредственно определить трудно. Поэтому о присутствии в воде органических веществ судят косвенно по расходу кислорода на их окисление при воздействии $KMnO_4$. Величину окисляемости выражают количеством израсходованного $KMnO_4$ или чаще O_2, мг/дм^3. Растворенный кислород влияет на коррозионную активность воды.

Взвешенные вещества – количество мелкодисперсных, не растворенных в воде веществ в виде глинистой суспензии, частиц песка, в котловой и обрабатываемой воде – в виде шлама, содержащих плохо растворимые вещества: $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$, $Fe(OH)_3$ и др., измеряется в миллиграммах на кубический дециметр (мг/дм^3).

Содержание взвешенных веществ определяют путем фильтрования анализируемой воды через бумажный фильтр с просушиванием его при температуре 105 ºС – 110 ºС до постоянного веса. Такое определение трудоемко, и поэтому часто предпочитают косвенный метод, определяющий содержание мелкодисперсной взвеси по прозрачности воды в соответствии с ГОСТ Р 57164. Взвешенные вещества, оседая на поверхности труб, уменьшают теплопроводность и увеличивают гидравлическое сопротивление трубопроводных систем.

Сухой остаток – определяют путем выпаривания освобожденной от взвешенных веществ пробы воды и высушивания полученного остатка при 105 ºС – 110 ºС. Сухой остаток состоит из молекулярно и коллоидно растворенных веществ (минеральных и органических). При упаривании нефильтрованной пробы (со взвешенными веществами) получают осадок,

который подсушивают при температуре 105 °С. Такой осадок называют плотным остатком.

Минеральный остаток (или общее солесодержание) можно получить путем суммирования катионов и анионов, полученных в результате полного химического анализа воды.

Содержание масел – это содержание маслонефтесодержащих продуктов, измеряется в миллиграммах на кубический дециметр (мг/дм^3). Маслянистые соединения и масла, оседая на поверхностях нагрева, уменьшают теплопроводность.

Содержание в воде соединений железа (Fe) – соединения железа в воде находятся в растворе или во взвешенных частицах. Суммарное (общее) железо – это сумма концентраций всех типов железа, содержащихся в воде, концентрация выражается в миллиграммах на кубический дециметр (мг/дм^3).

Растворенное в воде железо влияет на коррозионную активность, нерастворимые соединения вызывают отложения на поверхности труб и оборудования, уменьшая теплопроводность и увеличивая гидравлическое сопротивление трубопроводных систем.

Удельная электрическая проводимость воды – характеристика минерализации воды, измеряется в микросименсах на сантиметр (мкСм/см). Электрическая проводимость (электропроводимость) зависит от подвижности ионов, степени диссоциации и концентрации различных солей, кислот, щелочей, а также от температуры, чисел переноса.

Величина электропроводности важна для оценки качественного состава котловой воды (регламентируемая величина солесодержания, возможность образования шлама).

Примечания

1 При проектирования автоматизированных, без постоянного присутствия обслуживающего персонала паровых котельных, а также водогрейных котельных с температурой нагрева выше 115 °С данный термин вводится впервые и принят по

аналогии с европейскими нормами, на которые ссылаются в своих требованиях ведущие предприятия–производители котлов.

2 Показания датчиков контроля электропроводимости используются для определения необходимости автоматизации проведения продувки котла.

4.2 Общие требования

4.2.1 При проектировании ХВП должны предусматриваться решения по обработке воды для питания паровых и водогрейных котлов, систем теплоснабжения, систем централизованного горячего водоснабжения, а также по контролю качества воды и пара.

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

4.2.3 Технологию обработки воды следует выбирать в зависимости от обеспечения требуемого качества пара, питательной и котловой воды, воды для систем теплоснабжения и горячего водоснабжения, качества исходной воды, количества и качества отводимых сточных вод, требующейся производительности системы ХВП, количества и качества возвращаемого конденсата.

4.2.4 Данные о качестве исходной воды для питания паровых котлов производственных потребителей и подпитки систем теплоснабжения необходимо определять на основании анализов, выполняемых в соответствии с ГОСТ 2761.

4.2.5 Пригодность воды для энергетических целей и выбор соответствующих методов обработки могут быть решены при наличии полного анализа воды с определением следующих показателей:

- взвешенные вещества;

- сухой остаток;

- концентрация водородных ионов pH;

- окисляемость;

- свободная углекислота;

- щелочность;

- общая жесткость;

- карбонатная жесткость;

- катионы: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na+, и др.;

- анионы: Cl^{-}, HCO_3–, SO_4^{2-} и др.

4.2.6 Качество воды для заполнения и подпитки закрытых систем теплоснабжения и контуров циркуляции водогрейных котлов должно удовлетворять требованиям ГОСТ 21563, СП 124.13330 и требованиям предприятия – изготовителя оборудования.

4.2.7 Качество воды для систем горячего водоснабжения должно отвечать требованиям ГОСТ Р 51232, СанПиН 2.1.4.1074, СанПиН 2.1.4.2652 и СанПиН 2.1.4.2496.

4.2.8 Требования к качеству питательной воды для паровых котлов с естественной и многократной принудительной циркуляцией следует принимать согласно требованиям предприятий–производителей котлов. В случае отсутствия требований предприятий-производителей следует принимать требования согласно приложению А.

4.2.9 Требования к качеству питательной воды для водотрубных котлов с естественной циркуляцией с рабочим давлением пара до 4 МПа следует принимать согласно требованиям предприятий–производителей котлов. В случае отсутствия требований предприятий-производителей следует принимать требования согласно приложению Б.

4.2.10 Требования к качеству питательной воды для водотрубных котлов с естественной циркуляцией с рабочим давлением пара 10 МПа следует принимать согласно требованиям предприятий–производителей котлов. В случае отсутствия требований предприятий-производителей следует принимать требования согласно приложению В.

4.2.11 Требования к качеству котловой воды паровых котлов по сухому остатку (минерализации) следует принимать по данным предприятия-производителя.

4.2.12 Допускаемое значение критерия потенциальной щелочной агрессивности котловой воды паровых котлов необходимо принимать:

- для котлов с клепаными соединениями давлением более 0,8 МПа – не менее 5;

- для котлов со сварными барабанами и вальцованными в них трубами давлением до 1,4 МПа – не менее 2;

- для котлов со сварными барабанами и приваренными к ним трубами, давлением до 1,4 МПа и котлов с клепаными барабанами давлением до 0,8 МПа – не нормируется.

4.2.13 Для подготовки добавочной воды паровых котлов и подпиточной воды систем теплоснабжения допускается предусматривать в качестве исходных вод: поверхностные воды, подземные воды непитьевого качества, воды оборотных систем охлаждения, промышленные сточные воды, хозяйственно-бытовые сточные воды – после их очистки до соответствующих норм на биологических очистных сооружениях и проверки в опытных (лабораторных) условиях возможности использования этих вод. При наличии нескольких источников водоснабжения выбор источника следует проводить на основе технико-экономических обоснований.

Как исключение, допускается использование подземных вод питьевого качества, если для котельной принят один источник водоснабжения, а вода и (или) пар предназначены как для производственных технологических целей, так и для систем теплоснабжения.

4.2.14 В зависимости от источника водоснабжения необходимо иметь несколько анализов, характеризующих исходную воду. Для артезианской воды достаточно двух анализов, взятых в различное время, подтверждающих постоянство качественных показателей. Для поверхностных вод необходимо иметь ежемесячные анализы за последние два-три года, из которых

выбирают анализ, характеризующий худшие качественные показатели (например, максимальное солесодержание, жесткость и др.), в предпаводковый период, максимальное содержание взвешенных веществ, окисляемость, характерные в период паводка или ливневых дождей.

4.2.15 Проверку правильности анализа проводят по следующему показателю:

- сумма катионов (ΣКат) должна быть равна сумме анионов (ΣАн), выраженных в миллиграмм-эквивалентах на кубический дециметр (мг-экв/дм^3).

4.2.16 Если в анализе содержание катионов и анионов дано в миллиграммах на кубический дециметр (мг/дм^3), следует его перевести в миллиграмм-эквиваленты и проверить равенство:

$$\frac{Ca}{20,4}+\frac{Mg}{12,16}+\frac{Na}{23}+\frac{NH_4}{18,04}+\ \dots=\frac{HCO_3}{61,02}+\frac{SO_4}{48,03}+\frac{Cl}{35,48}+\ \dots\ . \qquad (1)$$

4.2.17 Концентрацию катионов натрия и калия обычно принимают в анализах равной разности между суммой анионов Ан и суммой катионов:

$$Na^+ + K^+ = \Sigma Ан - (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Fe^{2+} + \dots). \qquad (2)$$

4.2.18 Величина общей жесткости должна быть равна сумме концентраций кальция и магния, выраженных в миллиграмм-эквивалентах на кубический дециметр (мг-экв/дм^3):

$$Ж_{и.в} = \frac{Ca2+}{20,4}+\frac{Mg2+}{12,16}, \qquad (3)$$

где $Ж_{и.в}$ – общая жесткость исходной воды, мг-экв/дм^3.

4.2.19 Концентрация бикарбонатного иона HCO_3–, выраженная в миллиграмм-эквивалентах на кубический дециметр (мг-экв/дм^3), должна быть:

при $Ж_{и.в} > Щ_{и.в}$ $[HCO_{3-}]_{ив} = Ж_к = Щ_{ив}$; (4)

при $Ж_{и.в} < Щ_и$ $[HCO_{3-}] = Щ_{ив}$; $Ж_{и\,в} = Ж_к$; $Ж_{нв} = 0$, (5)

где $Щ_{и.в}$ – шелочность исходной воды, мг-экв/дм^3;

$[HCO_{3-}]_{и.в}$ – концентрация бикарбонатного иона в исходной воде, мг-кв/дм^3;

$Ж_к$ – карбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/дм^3;

$Ж_{нк}$ – некарбонатная жесткость воды, мг-экв/дм^3.

4.2.20 При проектировании зданий и сооружений химводоочистки выбор оборудования для обработки исходной воды и конденсата и оборудования реагентного хозяйства кроме настоящих методических указаний следует руководствоваться также СП 31.13330.

4.3 Методы обработки воды

4.3.1 В зависимости от качества исходной воды и требований к ВХР применяют следующие методы обработки (подготовки) воды:

- механические;
- физико-химические;
- химические;
- термические;
- магнитные.

4.3.2 Обычно для достижения необходимого качества подготовленной воды требуется совместное применение нескольких методов.

4.4 Механические методы

4.4.1 К механическим методам обработки воды относятся:

а) фильтрование через перегородки различных устройств (сетчатые, щелевые перегородки, в том числе из сжимаемых дисков) с различной крупностью ячеек (щелей), с устройствами ручной или автоматической

промывки с помощью потока воды и (или) с помощью механических устройств;

б) применение засыпных фильтров с инертной зернистой загрузкой, промываемые обратным током воды;

в) фильтрование через сменные фильтроэлементы (картриджи), обеспечивающие поверхностное или глубинное (объемное) фильтрование.

4.4.2 Для повышения эффективности механической очистки могут дополнительно использоваться магнитные вставки, изменение направление потока (гидродинамические, циклонные эффекты).

Например, в гидродинамических фильтрах большой производительности вода подается в фильтр под определенным углом с определенной скоростью. Очистка происходит за счет закручивания потока и оттеснения более тяжелых частиц к стенкам фильтра.

4.4.3 Механические фильтры всегда устанавливаются на вводе исходной воды в котельную, на вводе тепловых сетей в котельную, а также по рекомендациям предприятий-производителей оборудования (перед насосами, перед теплообменниками и др.).

4.4.4 Механические фильтры допускается применять как самостоятельно, для защиты оборудования котельной, так и для защиты используемого водоочистного оборудования, устанавливаемого после механических фильтров. Тип фильтров следует в последнем случае принимать с учетом требований к концентрации и крупности взвешенных веществ на входе в ионообменные фильтры, установки мембранного разделения и т. д.

4.4.5 Выбор конструкции фильтров, обязательность наличия промывки/регенерации фильтрующих материалов, степень автоматизации следует принимать с учетом характера загрязнения (периодическое или постоянное), крупности частиц, их склонности к налипанию, закупориванию отверстий и пор, в соответствии с рекомендациями предприятия – производителя фильтров.

4.5 Физико-химические методы

4.5.1 К применяемым при подготовке воды для котельных физико-химическим методам относятся:

а) сорбция;

б) ионный обмен (натрий-катионирование, водород-натрий-катинирование);

в) мембранное разделение (ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос).

4.5.2 Сорбционную очистку допускается применять при необходимости дехлорирования исходной воды, для снижения содержания нефтепродуктов, органических веществ – в основном для защиты применяемых ионообменных смол, мембран. В качестве сорбента допускается применять гранулированный активированный уголь, другие сорбционные материалы. Подбор оборудования проводят с учетом рекомендаций предприятия-производителя материалов к скорости фильтрования, промывки, а также на основании данных о сорбционной емкости сорбента.

4.6 Ионообменное умягчение

4.6.1 Натрий-катионирование (наиболее распространенный из-за простоты применения способ) применяют для снижения содержания ионов кальция и магния, определяющих величину общей жесткости, на ионы натрия, соли которого не склонны к образованию нерастворимых отложений. Щелочность исходной воды при натрий-катионировании не изменяется. Остаточная общая жесткость воды зависит от качества исходной воды и требований потребителей. Ионный обмен происходит в процессе контакта обрабатываемой воды с ионообменной смолой – зернистым синтетическим материалом, предварительно насыщенным катионами Na^+.

Процесс ионного обмена продолжается до тех пор, пока концентрация катионов Na^+ в зернах смолы не снизится до уровня, при котором ионообменные процессы значительно замедляются и прекращаются. Для

восстановления ионообменных свойств смолы проводят ее регенерацию путем пропускания через слой загрузки раствора поваренной соли (NaCl).

В котельных применяют как одно-, так и двухступенчатое натрий-катионирование в зависимости от требуемой жесткости обработанной воды.

Более глубокое умягчение воды требует большего расхода соли на регенерацию. Обычно для получения воды с остаточной жесткостью 0,1 мг-экв/дм^3 применяют одноступенчатое катионирование с удельным расходом соли 100–150 г/г-экв.

Для получения глубокого умягчения воды с остаточной жесткостью не более 0,02 мг-экв/дм^3 применяют двухступенчатое катионирование с удельным расходом соли на второй ступени катионировния 350–400 г/г-экв.

Сухой остаток исходной воды при натрий-катионировании увеличивается за счет обмена катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} на Na^+ и определяется по формуле

$$S_{Na} = S_{ив} + 2{,}96Ж_{Ca} + 10{,}84\,Ж_{Mg}, \qquad (6)$$

где S_{Na} – сухой остаток натрий-катионированной воды, мг/дм^3;

$Ж_{Mg}$ – магниевая жесткость исходной воды, мг-экв/дм^3.

4.6.2 Водород-катионирование – процесс, в ходе которого ионы кальция и магния обмениваются на водород. Ионный обмен происходит в процессе контакта обрабатываемой воды с ионообменной смолой, отрегенерированной кислотой. В составе различных схем и в сочетании с натрий-катионированием водород-катионирование применяют при необходимости снижения карбонатной жесткости (щелочности) воды.

При параллельном водород-катионировании жесткость воды при автоматическом регулировании можно поддерживать в пределах 0,25–0,35 мг-экв/дм^3. Глубина умягчения воды при этом в зависимости от требований потребителя может быть получена равной 0,1–0,02 мг-экв/дм^3 путем

одноступенчатого катионирования или введения второй (после смешения и декарбонизации) ступени натрий-катионирования.

При водород-катионировании с «голодной» регенерацией водород-катионитных фильтров можно получить остаточную щелочность или карбонатную жесткость не менее 0,7–1 мг-экв/дм^3.

Сухой остаток воды после водород-катионирования определяют по формуле

$$S_н = S_{ив} - 20{,}04Ж_{Ca} - 12{,}16\ Ж_{Mg} - \frac{(Щ_{ив} - Щ_{ост})61{,}02}{2}, \qquad (7)$$

где $S_н$ – сухой остаток водород-катионированной воды, мг/дм^3;

$Щ_{ост}$ – остаточная щелочность обработанной воды, мл-экв/дм^3.

При водород-катионировании с «голодной» регенерацией фильтров в формуле (7) следует принимать только ту часть кальциевой и магниевой жесткости, которая удаляется водород-катионированием, т. е. связанную с анионом HCO_{3-}.

Сухой остаток после параллельного водород-натрий-катионирования определяют по формуле

$$S_{ов} = S_{H\alpha H} + S_{Na\alpha Na}, \qquad (8)$$

где α_H – доля водород-катионированной воды;

α_{Na} – доля натрий-катионированной воды.

4.6.3 Натрий-хлор-ионирование

В зависимости от требований, предъявляемых к обрабатываемой воде, глубину умягчения воды до 0,1–0,2 мг-экв/дм^3 можно получить путем одно- или двухступенчатого натрий-катионирования.

Снижение щелочности исходной воды при натрий-хлор-ионировании возможно до 0,5 мг-экв/дм^3, однако снижение щелочности целесообразно вести не до низшего возможного предела, а до значения, допустимого нормами для данного конкретного случая, – 1–2 мг-экв/дм^3.

Сухой остаток обработанной воды определяют по формуле

$$S_{ов} = S_{ив} – 2{,}96Ж_{Ca} – 10{,}84\ Ж_{Mg} + 4{,}97(Щ_{и.в} – Щ_{о.в}) –12{,}55[SO_4], \qquad (9)$$

где $Щ_{о.в}$ – щелочность обработанной воды, мг-экв/дм^3;

$[SO_4]$ – концентрация в исходной воде сульфата-иона, мг-экв/дм^3.

Сухой остаток котловой воды при натрий-хлор-ионировании будет выше, чем при натрий-катионировании, так как ион хлора остается в котловой воде, а бикарбонатный ион в котловой воде разлагается, и углекислота удаляется с паром.

4.6.4 Аммоний-натрий-катионирование

При аммоний-натрий-катионировании щелочность обработанной воды равна щелочности исходной воды, так как взамен бикарбонатов кальция и магния образуется эквивалентное количество бикарбонатов аммония и натрия. В котловой воде за счет разложения NH_4HCO_3 так называемая «условная» остаточная щелочность воды уменьшается до 0,3–0,7 мг-экв/дм^3.

Сухой остаток обработанной воды определяется так же, как и для водород-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров, так как NH_4HCO_3 разлагается в котле на NH_4 и CO_2, которые удаляются с паром.

4.7 Мембранное разделение

4.7.1 Процессы мембранного разделения основаны на разделении растворов с помощью полупроницаемой мембраны под действием избыточного давления, приложенного со стороны разделяемого раствора.

4.7.2 Метод ультрафильтрации – процесс мембранного разделения растворов, в которых молекулярная масса удаляемых растворенных компонентов намного больше молекулярной массы растворителя.

4.7.3 Метод ультрафильтрации позволяет удалять частицы крупностью от $5 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-1}$ мкм.

В составе систем подготовки воды для котельных ультрафильтрацию применяют в основном в качестве предварительной очистки при использовании метода обратного осмоса для очистки от мелкодисперсных взвешенных и коллоидных загрязнений, включая железо, как продукт коррозии, кремний в виде мелкодисперсных и коллоидных загрязнений.

4.7.4 Метод нанофильтрации - метод, при котором отделяются частицы с размерами порядка нанометра – органические вещества, коллоидные загрязнения.

4.7.5 Метод нанофильтрации позволяет удалять частицы крупностью от $1 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-2}$ мкм.

4.7.6 Нанофильтрационные мембраны имеют меньшую селективность по растворенным солям – от 20 % до 80 %. Соли жесткости, особенно содержащие двухвалентные анионы (сульфаты кальция, магния), задерживаются в большей степени, чем другие соли. Солесодержание пермеата выше (основного потока воды, очищенной от примесей), соответственно, концентрат имеет меньшее солесодержание.

4.7.8 Метод обратного осмоса заключается в фильтровании растворов под давлением, превышающем осмотическое, через полупроницаемые мембраны, что позволяет выделить из воды растворенные соли (в том числе соли жесткости), органические вещества, коллоидные и мелкодисперсные загрязнения. При этом пермеат проходит через мембрану, а обогащенный

примесями (ионы солей, мелкодисперсные частицы, органические вещества и т. д.) раствор (концентрат) выводится из мембранного модуля. В составе систем подготовки воды для котельных метод обратного осмоса допускается применять для одновременного снижения жесткости, щелочности, солесодержания воды.

4.8 Химические методы очистки

Химические методы подготовки воды для котельных включают обработку воды растворами различных реагентов, в том числе:

а) комплексонная обработка, дозирование ингибиторов накипеобразования, препятствующих росту кристаллов солей жесткости, на основе органических комплексов фосфоновых кислот с ионами металлов (фосфонаты), полимеров на основе акриловой и малеиновой кислот. Комплексоны для предотвращения их отложений в котлах, теплообменном оборудовании и трубопроводах должны вводиться перед всасывающим патрубком котловых (сетевых) насосов. При применении комплексонов необходимо обратить внимание на допустимую температуру нагрева теплоносителя;

б) коррекционные методы – нитратирование (для предупреждения межкристаллитной коррозии), аминирование (для уменьшения содержания в паре свободной углекислоты), фосфатирование или трилонирование, сульфитирование (для удаления нитритов, связывания остаточного растворенного кислорода);

в) способ, основанный на связывании растворенного в воде кислорода при реакциях его с ионами Mg (магниевый анод – элизатор).

4.9 Деаэрация

Деаэрация - термический метод, заключающийся в нагреве исходной воды до определенной температуры, что приводит к разложению солей

карбонатной жесткости и выделению из воды растворенных газов (O_2 и CO_2). Деаэрация осуществляется:

- путем нагрева воды непосредственно паром в питательном баке (деаэратор атмосферного типа);

- путем нагрева воды паром или перегретой водой и создания вакуума в питательном баке (деаэратор вакуумного типа);

- путем нагрева воды в выносном теплообменнике (паром или водой) и подачи питательной воды на специальные «сопла-щели» (деаэратор щелевого типа).

4.10 Магнитный метод

Данный метод основан на принципе воздействия на воду магнитного поля определенной напряженности.

Молекула воды представляет собой диполь-частицу с положительно и отрицательно заряженными полюсами. Под действием сил взаимного притяжения диполи образуют отдельные «сгустки», объединяясь вокруг присутствующих в воде микрочастиц и ионов примесей Ca^{2+} и CO_3^{2-}.

При нагревании воды «сгустки» разрушаются, и ионы Ca^{2+} и CO_3^{2-}, соединяясь, образуют карбонат кальция $CaCO_3$, который осаждается на нагреваемых поверхностях в виде накипи.

При магнитной обработке воды в созданном магнитном поле на диполи воды действует сила Лоренца, которая заставляет их совершать колебательные движения. В зависимости от напряженности магнитного поля и частоты смены направлений магнитного поля изменяют характер расположения диполей воды и скорость распада микрочастиц. Начинается процесс создания в объеме воды микрокристаллов, которые не осаждаются на поверхности нагрева и трубопроводов. Образовавшиеся частицы улавливаются на механических фильтрах.

Источником магнитного поля при магнитном способе могут быть постоянные магниты или электромагниты.

Магнитная обработка воды не меняет химический состав воды и позволяет уменьшить образование накипи.

5 Требования к схемным решениям по обработке воды в зависимости от качества исходной воды и требований к водно-химическому режиму различных типов котлов

5.1 Общие требования к схемным решениям

5.1.1 Требования к схемным решениям по обработке воды разработаны в зависимости от качества исходной воды и требований к ВХР различных типов котлов и теплосетей.

5.1.2 При проектировании водоочистительных установок разного назначения их расчет проводят по полным анализам исходной воды, взятым в характерные периоды (зима – весна – осень) за последние пять лет. Реагентное хозяйство для очистки воды выбирают по наименее благоприятному качеству воды. Технико-экономические расчеты для оценки вариантов обработки воды котлов проводят исходя из среднегодовых показателей качества исходной воды.

5.1.3 При выборе способа обработки воды предпочтение следует отдавать методам, которые обеспечивают необходимое качество обрабатываемой воды, исключают применение сильно агрессивных и токсичных реагентов и повышают требования к технике безопасности при эксплуатации установок, а также методам, обеспечивающим минимальное количество сточных вод и требующим меньших капитальных затрат и эксплуатационных расходов на очистку.

В зависимости от качества исходной воды и требований к ВХР рекомендуются способы обработки воды, указанные в 5.2–5.5 для котлов различных типов.

5.2 Паровые котлы с давлением пара от 0,07 до 4,0 МПа

5.2.1 Выбор способа обработки воды проводят в зависимости от качества исходной воды и требований к ВХР.

Основным критерием выбора схемы обработки воды является величина продувки.

Расчетная величина продувки зависит от давления в котле и должна быть не более указанной в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Давление в котле, МПа	Величина продувки P, %	Рекомендации для достижения заданной продувки P
До 0,14	10	Снижение солесодержания
До 0,20	7	Снижение солесодержания
До 0,40	5	Снижение солесодержания

Величину продувки P, %, определяют по сухому остатку по формуле

$$P = \frac{S_{\text{о.в}} \cdot \propto_{\text{о.в}} \cdot 100}{S_{\text{к.в}} - S_{\text{о.в}} \cdot \propto_{\text{о.в}}} \quad (10)$$

где $S_{\text{о.в}}$ – сухой остаток обработанной воды, мг/дм^3;

$\propto_{\text{о.в}}$ – доля обработанной воды в питательной, определяется из пароводяного баланса, учитывающего потери конденсата;

$S_{\text{к.в}}$ – допустимый сухой остаток котловой воды, мг/дм^3, принимается по данным предприятия–производителя котла (пункт 12.9 СП 89.13330.2016).

Расчет продувки ведется для режима максимальных потерь пара и конденсата, при худших показателях (по сухому остатку) исходной воды.

5.2.2 Содержание углекислоты в паре

Содержание углекислоты в паре определяют по относительной щелочности pH котловой воды. По величине содержания углекислоты в паре

принимают решение о необходимости снижения щелочности обработанной воды.

Концентрацию углекислоты CO_2, мг/дм^3 в паре при отсутствии деаэрации или при использовании деаэраторов без барботажа определяют по формуле

$$CO_2 = 22 \cdot Щ_{о.в} \cdot \alpha_{о.в} \cdot (1 + \sigma), \qquad (11)$$

где 22 – эквивалент углекислоты;

$Щ_{о.в}$ – щелочность обработанной воды, мг-экв/дм^3;

σ – доля разложения Na_2CO_3 в котле, принимается по графику на рисунке 5.1.

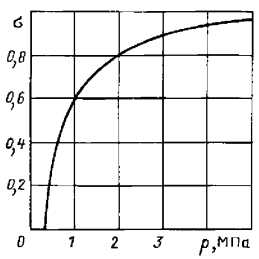


Рисунок 5.1 **– Зависимость разложения Na_2CO_3 от давления в котле**

5.2.3 Относительная щелочность

Относительная щелочность не должна превышать 20%. При величине $Щ_{от}$ выше 20 % следует применять нитратирование.

Щелочность обработанной воды при использовании натрий-катионирования следует принимать равной щелочности исходной воды, при других способах снижения жесткости – в зависимости от способа (от 0,5 до 1,0 мг-экв/дм^3).

Относительную щелочность определяют по формуле

$$Щ_{к.в}^{от} = \frac{40 \cdot Щ_{о.в} \cdot 100}{S_{о.в}}, \quad (12)$$

где $Щ_{о.в}$ – относительная щелочность обработанной воды, мг/дм^3;

$S_{о.в}$ – сухой остаток обработанной воды, мг/дм^3;

40 – эквивалент NaOH.

5.2.4 Для достижения нормируемых показателей для паровых котельных рекомендуются следующие способы обработки воды:

А) Устройство механических фильтров для удаления мелкодисперсных в воде веществ и нефтепродуктов на вводе исходной воды в котельную.

Б) Устройство системы умягчения (удаление солей жесткости), обессоливания одним из перечисленных методов:

- натрий-катионирование;
- водород-натрий-катионирование;
- обратный осмос.

Примечание – Наиболее часто применяется метод натрий-катионирования.

В) Нитратирование для защиты от межкристаллитной-щелочной коррозии.

Г) Устройство системы термической обработки для удаления растворенных в воде газов (O_2, CO_2), или, если это допускается требованиями к качеству пара, ввод комплексонов для связывания растворенных газов.

Д) Устройство систем поглощения (замещения) растворенного в воде железа.

Способы А, Б и Г являются обязательными, способы В и Д применяются при необходимости, в зависимости от анализа исходной воды, типа котла, сжигаемого топлива и рабочего давления.

5.3 Водогрейные котлы с температурой нагрева от 115 °С и выше

При зависимом присоединении тепловых сетей к котлам требования к качеству воды в системе должны предъявляться в соответствии с требованиями к качеству подпиточной воды тепловых сетей.

Поскольку водоразбор из тепловых сетей запрещен законодательством, настоящие методические указания не рассматривают требования к качеству воды для систем с открытым водоразбором.

При независимом присоединении тепловых сетей через теплообменные аппараты требования к качеству питательной (подпиточной) воды котлового контура должны определяться требованиями предприятия – производителя котлов, а при отсутствии таковых – на основании требований [1].

При выборе схем подготовки подпиточной воды необходимо учитывать следующие основные характеристики с точки зрения образования отложений и шлама:

- общая, кальциевая, карбонатная жесткость;
- водородный показатель pH;
- содержание O_2;
- содержание железа;
- содержание масло- и нефтесодержащих продуктов.

Для достижения нормируемых показателей для водогрейных котельных рекомендуются следующие способы обработки воды:

А) Устройство механических фильтров для удаления мелкодисперсных, не растворенных в воде веществ и нефтепродуктов на вводе исходной воды в котельную.

Б) Устройство системы умягчения (удаление солей жесткости), декарбонизации, обессоливания одним из перечисленных методов:

- натрий-катионирование;
- водород-натрий-катионирование;
- обратный осмос.

Примечание – Наиболее часто применяется натрий-катионирование.

В) Нитратирование для защиты от межкристаллитной щелочной коррозии.

Г) Устройство системы термической обработки для удаления растворенных в воде газов (O_2, CO_2), или, если это допускается требованиями к качеству воды, ввод реагентов для связывания растворенных газов. Применяется при необходимости, в зависимости от анализа исходной воды, типа котла, сжигаемого топлива и рабочего давления.

5.4 Водогрейные котлы с температурой нагрева до 115 °Си паровые котлы с рабочим давлением до 0,07 МПа

Для достижения нормируемых показателей рекомендуются следующие способы обработки воды:

А) Устройство механических фильтров для удаления мелкодисперсных, не растворенных в воде веществ и нефтепродуктов на вводе исходной воды в котельную.

Б) Устройство одноступенчатой системы умягчения (удаление солей жесткости) методом натрий-катионирования или устройство магнитной обработки воды (магнитная обработка применима при нагреве воды не выше 95 °С, содержании железа в воде не более 0,3 мг/дм^3 и карбонатной жесткости не более 2 мг-экв/дм^3).

В) Дозирование ингибиторов, комплексонная обработка.

Г) Устройство системы термической обработки для удаления растворенных в воде газов (O_2 ,CO_2), или, если это допускается требованиями к качеству воды, ввод комплексонов для связывания растворенных газов.

Д) Устройство систем поглощения (замещения) растворенного в воде железа.

Способы А, Б и Г являются обязательными, способы В и Д применяются, при необходимости, в зависимости от анализа исходной воды, типа котла.

5.5 Тепловые сети

5.5.1 При выборе схем подготовки подпиточной воды следует учитывать следующие основные характеристики подпиточной и сетевой воды с точки зрения образования отложений и шлама:

- общая, кальциевая, карбонатная жесткость;
- водородный показатель pH;
- содержание сульфатов.

Критериями выбора схемы являются:

- карбонатный индекс;
- условная сульфатно-кальциевая жесткость (в соответствии с [2]).

Карбонатный индекс – предельное значение произведения общей щелочности и кальциевой жесткости воды, выше которого протекает карбонатное накипеобразование с интенсивностью более 0,1 г/(м^2 · ч).

Предельное (нормативное) значение карбонатного индекса сетевой воды $Ик_с$, в (мг-экв/дм^3)^2, определяют по формуле

$$Ик_с = Са_с \cdot Щ_с, \quad (13)$$

где $Са_с$ – предельно допустимое значение кальциевой жесткости сетевой воды, мг-экв/дм^3;

$Щ_с$ – предельно допустимое значение общей щелочности сетевой воды, мг-экв/дм^3.

Предельное значение карбонатного индекса сетевой воды принимают согласно таблицам Е.2, Е.3 приложения Е СП 124.13330.2012 в зависимости от температуры нагрева и поддерживаемого значения pH.

Для закрытых систем теплоснабжения значение карбонатного индекса подпиточной воды $Ик_с$ должно быть таким, чтобы обеспечить нормативное значение карбонатного индекса сетевой воды $Ик_с$ с учетом присосов водопроводной воды в сетевую.

При известных значениях щелочности подпиточной $Щ_с$ и водопроводной воды $Щ_с$ щелочность сетевой воды определяют по формуле

$$Щ_с = \frac{Щ_п + 0{,}01\alpha \cdot Щ_в}{1 + 0{,}01\alpha}, \quad (14)$$

где α – доля реальных присосов водопроводной воды, %, по отношению к расходу подпиточной воды, определяемая по формуле

$$\alpha = \frac{Ж_с - Ж_п}{Ж_в - Ж_с} \cdot 100\%, \quad (15)$$

здесь $Ж_с, Ж_п, Ж_в$ – общая жесткость сетевой, подпиточной и водопроводной воды соответственно, мг-экв/дм^3.

При отсутствии эксплуатационных данных по значению присосов водопроводной воды долю присосов рекомендуется принимать равной 10% при использовании водо-водяных кожухотрубных подогревателей и 1% при использовании пластинчатых подогревателей.

По заданному значению карбонатного индекса сетевой воды кальциевую жесткость сетевой воды определяют по формуле

$$Ca_с = \frac{Ик_с}{Щ_с}. \quad (16)$$

Допустимую кальциевую жесткость подпиточной воды рассчитывают по формуле

$$Ca_п = (1 + 0{,}01\ \alpha) \cdot Ca_с - 0{,}01\ \alpha \cdot Ca_в, \quad (17)$$

где $Ca_с$ – допустимая кальциевая жесткость сетевой воды, мг-экв/дм^3;

$Ca_в$ – кальциевая жесткость водопроводной воды, мг-экв/дм^3.

Если полученное предельное значение кальциевой жесткости больше кальциевой жесткости водопроводной воды $Ca_п \geq Ca_в$, снижения кальциевой жесткости и щелочности не требуется.

Если полученное значение меньше кальциевой жесткости водопроводной воды $Ca_п \leq Ca_в$, необходимо обеспечить снижение кальциевой (общей) жесткости методом одноступенчатого (до 0,1 мг-экв/дм^3) или двухступенчатого (до 0,01 мг-экв/дм^3) натрий-катионирования либо предусмотреть одновременное снижение жесткости и щелочности (методом водород-катионирования, другими методами). Для достижения нормируемых показателей рекомендуется один из следующих способов обработки воды:

А) Использование механических фильтров для удаления мелкодисперсных в воде веществ и нефтепродуктов на вводе исходной воды в котельную.

Б.1) При нагреве воды до температуры не выше 95 °С:

- устройство одноступенчатой системы умягчения, снижения карбонатной жесткости методами натрий-катионирования, водород-катионирования;

- или устройство магнитной обработки воды;

- или дозирование ингибиторов накипеобразования и коррозии, соответствующих условиям эксплуатации оборудования.

Б.2) При нагреве воды выше 115°С:

- устройство системы умягчения, снижения карбонатной жесткости, обессоливания одним из перечисленных методов:

- натрий-катионирование,

- водород-натрий-катинирование,

- обратный осмос.

Примечание – Наиболее часто применяется натрий-катионирование.

В) Нитратирование для защиты от межкристаллитной щелочной коррозии.

Г) Устройство системы термической обработки для удаления растворенных в воде газов (O_2, CO_2), или, если это допускается требованиями к качеству воды, ввод реагентов для связывания растворенных газов.

Д) Устройство систем поглощения (замещения) растворенного в воде железа.

Способы А, Б и Г являются обязательными, способы В и Д применяются при необходимости, в зависимости от анализа исходной воды, типа котла.

Тип и доза применяемых реагентов (ингибиторов) для каждого конкретного случая определяются профильными организациями по результатам работ по пуску и наладке.

5.5.2 Производительность установок подготовки воды следует выбирать исходя из максимальных расходов воды, необходимых для заполнения оборудования и систем (с учетом допустимого времени заполнения систем), восполнения потерь пара и конденсата, потерь от продувки и возможных утечек, а также расходов на собственные нужды, принимаемых равными 20 % расчетного значения.

При выборе числа установок следует учитывать возможность вывода отдельных блоков на регенерацию, чистку или загрузку с учетом несовпадения по времени различных процессов. Периодичность регенераций следует принимать не чаще одного раза за 8 ч. Максимально допустимое число регенераций в сутки – три регенерации.

При расчете расходов воды и выборе диаметров трубопроводов необходимо дополнительно учитывать расходы воды на собственные нужды установок.

5.5.3 При применении установок фильтрации проектировщик должен выбрать способ фильтрации и подобрать конструкцию фильтра, исходя из его пропускной способности и допустимой потери давления.

5.5.4 При термической обработке проектировщик должен подобрать установку (деаэратор) по способу нагрева воды и по производительности, определить необходимое количество теплоты на нагрев и объем выпара.

5.5.5 При применении магнитной обработки воды проектировщик должен подобрать соответствующую установку, исходя из ее производительности. Для бытовых систем допускается применять аппараты с напряженностью магнитного поля не более 2000 Эрстед. Конструкция аппаратов должна быть экологически безопасной, аппараты должны иметь документ оценки соответствия в части электромагнитной безопасности. Для закрытых систем с циркуляцией воды необходимо наряду с аппаратами для магнитной обработки воды устанавливать магнитные аппараты для восстановления магнитных свойств воды типа «аппараты антирелаксации».

5.5.6 При применении установок химической обработки воды с ионообменными фильтрами проектировщик должен рассчитать необходимое число фильтров с учетом их регенерации, время межрегенерационного периода, расходы воды на регенерацию и соответственно величину сброса воды в канализацию, включая состав сброса, а также требуемое количество реагентов.

5.5.7 При применении установок дозирования реагентов проектировщик должен рассчитать производительность установки и определить необходимый запас (расход) реагентов

6 Требования к объемно-планировочным решениям по размещению оборудования водоподготовки, включая помещения хранения реагентов

6.1 При строительстве автоматизированных блок-модульных котельных оборудование водоподготовительных установок целесообразно размещать в одном помещении с котельным залом, не выделяя отдельного помещения.

При строительстве квартальных котельных с расходом воды на горячее водоснабжение 500 $м^3$/ч и более оборудование водоподготовительных установок целесообразно размещать в отдельном помещении, совмещенном с помещением хранения соли и других реагентов. Категория производственных процессов для отдельных помещений водоподготовки по взрывной и пожарной опасности относится к ДН в соответствии с СП 12.13130.

6.2 В квартальных котельных, работающих с постоянным присутствием обслуживающего персонала, следует предусматривать помещение химической лаборатории для контроля качества ВХР. Помещения лаборатории должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией и системой кондиционирования, освещением, отоплением, подводом холодной и горячей водопроводной воды и канализацией.

6.3 Требования по организации ВХР тепловых сетей при нагреве теплоносителя выше 115 °С должны выполняться согласно СП 124.13330, СП 89.13330.

6.4 Размещение оборудования должно обеспечивать нормальные условия его эксплуатации. Расстояние от обслуживаемых фильтров до стены здания или между собой должно быть не менее 500 мм, с учетом выступающих частей трубопроводов обвязки и возможности демонтажа фильтра.

6.5 Расчетную производительность водоподготовительных установок и их оборудования следует определять:

- для паровых котлов – суммой наибольших потерь пара и конденсата у технологических потребителей и в наружных сетях, потерь воды с продувками котлов, потерь пара и конденсата в котельной и собственных нужд котельной;

- для подпитки тепловых сетей с закрытыми системами теплоснабжения – в соответствии с СП 124.13330.

6.6 Расходы воды на собственные нужды определяются расходами воды на регенерацию и промывку фильтров водоподготовки (учитывая несовпадение по времени процессов регенерации фильтров) и расходами осветленной воды на собственные нужды котельной.

6.7 Для улучшения процесса водоподготовки и предотвращения запотевания оборудования рекомендуется осуществлять подогрев исходной воды перед ХВП. Подогреватели исходной воды следует выбирать из расчета нагрева воды до температуры не ниже 15 °С, но не выше температуры, допускаемой по техническим характеристикам используемых ионообменных материалов и конструктивов фильтров.

6.8 Для реагентного хозяйства следует предусматривать склады мокрого хранения. При расходе реагентов до 3 т в месяц допускается их хранение в сухом виде в закрытых складах.

6.9 Высоту баков для хранения поваренной соли, кальцинированной соды и фосфатов следует принимать не более 2 м. При механизации загрузки и выгрузки реагентов высота баков может быть соответственно увеличена до 3,5 м и 2,5 м. Заглубление баков более чем на 2,5 м не допускается.

6.10 Вместимость складов хранения реагентов следует принимать при доставке:

- автотранспортом – из расчета 10-суточного расхода реагентов;

- железнодорожным транспортом – из расчета месячного расхода реагентов;

- по трубопроводам – из расчета суточного расхода реагентов.

6.11 Хранение флокулянта необходимо предусматривать в соответствии с указаниями документации предприятия-производителя.

6.12 Вместимость склада флокулянта следует определять из расчета хранения запаса для работы водоподготовки в течение не менее двух недель. Запас реагента определяется исходя из максимального суточного расхода.

6.13 При доставке реагентов железнодорожным транспортом необходимо предусматривать возможность приема одного вагона или цистерны; при этом к моменту разгрузки на складе должен учитываться 10-суточный запас реагентов.

6.14 Склад фильтрующих материалов необходимо рассчитывать на 10 % объема материалов, загружаемых в осветлительные и катионитные фильтры, и на 25 % объема материалов, загружаемых в анионитные фильтры.

6.15 Катиониты и аниониты следует хранить в упаковке изготовителя в закрытых складских помещениях при температуре не ниже 2 °С на расстоянии не менее 1 м от отопительных приборов.

6.16 Вспомогательное реагентное оборудование для использования кислот, натрий гидрооксида, аммиакосодержащих веществ, включающее мерники, эжекторы, насосы, расходные баки и т. п., располагающиеся в здании котельной или в отдельно стоящем здании водоподготовки, следует размещать в отдельные помещения для каждого реагента.

Допускается размещать оборудование для использования кислот и натрий гидроксида в одном помещении. Каждое помещение склада кислоты не должно содержать более 50 т реагента.

6.17 Баки хранения кислот и щелочей следует размещать в зданиях, заглублять их не допускается. Допускается размещение баков серной кислоты вне здания под навесом. Обязателен (при размещении баков вне здания) наружный обогрев баков с обеспечением температуры внутри бака 10 °С (оптимально), не допускается летний нагрев стенки бака более 30 °С.

Отвод реагентов и их растворов из баков необходимо предусматривать через верхний штуцер.

6.18 Под баками-мерниками, эжекторами и другим оборудованием кислот и щелочей следует предусматривать поддон вместимостью не менее 0,9 вместимости наибольшего аппарата. Поддон следует устраивать и под участком железнодорожного пути или площадкой автотранспорта, на которых предусматривается разгрузка реагентов.

Вместимость поддонов под участком железнодорожного пути и площадкой автотранспорта следует рассчитывать только на объем трубопроводов в пределах площадки разгрузки реагентов.

6.19 Наружные трубопроводы кислот и щелочей должны быть только надземными с обеспечением условий, предотвращающих замерзание реагентов внутри трубопроводов (тепловая изоляция, «спутники»).

6.20 Все баки необходимо оборудовать дренажными и переливными устройствами, а также устройствами для выпуска или впуска воздуха (воздушниками).

6.21 Трубопроводы для выпуска воздуха из баков с кислотами и щелочами должны возвышаться над кровлей здания не менее чем на 3 м, при расположении баков вне здания – на высоте не менее 5 м над площадкой обслуживания.

6.22 Трубопроводы концентрированных кислот и щелочей следует предусматривать только из стальных бесшовных или стальных футерованных труб.

6.23 В проектах следует предусматривать защиту от коррозии оборудования и трубопроводов, подвергающихся воздействию коррозионной среды, или принимать их в коррозионно-стойком исполнении.

6.24 Установку очистки производственного конденсата от загрязнений следует предусматривать при значениях загрязнений не более, мг/дм^3:

- взвешенные вещества……5,0;
- соединения железа (в пересчете на Fe)…… 0,1;
- нефтепродукты (мазут и масла)……0,5;
- смолы……..0,2;
- соединения меди (в пересчете на Cu)……..20,02.

При значениях загрязнений конденсата более указанных и при невозможности обработки конденсата совместно с исходной водой, а также в случаях технико-экономической нецелесообразности очистки конденсата возврат конденсата в котельную предусматривать не следует.

6.25 Количество насосов для подачи раствора соли к солерастворителям, а также для выполнения действий по регенерации фильтров должно быть не менее двух (один рабочий, один резервный) с автоматическим вводом резерва, а также устройством, обеспечивающим автоматическое переключение насосов для обеспечения одинакового моторесурса их работы. Электроснабжение оборудования ХВП и освещение помещений ХВП должно выполняться по той же категории, что и основное здание котельной.

7 Требования к конструктивным решениям согласно разработанным схемам и объемно-планировочным решениям

7.1 В случае отсутствия на котле специальных штуцеров при проектировании необходимо предусмотреть:

- на линии подачи воды в котел на участке между запорным органом и фланцем котла штуцер для заполнения котла консервирующим раствором реагента. Диаметр штуцера определяют из условия заполнения котла в течении 30 мин;

- штуцер диаметром 20 мм для удаления воздуха из котла при первичном заполнении его питательной водой или консервирующим раствором реагента. Отвод воздуха должен быть в верхней точке.

- штуцер диаметром 12 мм для отбора проб на входе и выходе воды из котла на участке между запорным органом и фланцем котла.

7.2 При установке блочных установок ХВП с натрий-катионитными фильтрами необходимо устанавливать один бак-солерастворитель на блок из двух фильтров исходя из условия: один фильтр в работе, другой регенерируется, забирая концентрат из бака-солерастворителя.

8 Контроль водно-химического режима

8.1 Проект водоподготовки должен предусматривать фиксацию в специальных журналах показателей качества сетевой и подпиточной воды, а также данные о работе ХВП.

Порядок и периодичность контроля определяются по результатам пусконаладочных работ.

8.2 Для контроля ВХР в котельных и на сооружениях тепловых сетей (центральных тепловых пунктов) необходимо устанавливать охладители проб контролируемой среды (воды и пара). В качестве охладителей проб рекомендуется использовать одно-, двух- и многоточечные охладители заводского изготовления. Температура охлажденной воды (пробы) должна быть не более плюс 40 °С.

На каждой линии проб, перед охладителем проб необходимо устанавливать запорную арматуру – шаровые краны. При установке охладителя проб пара давлением более 0,8 МПа перед охладителем на

паропроводе должны быть установлены два запорных клапана. Диаметр линий отбора проб следует принимать равным 10 мм.

Отвод стоков от охладителя проб необходимо выполнить в промежуточный канализационный колодец – барботер. Трубопроводы для отбора проб, а также охладитель проб должны быть изготовлены из нержавеющей стали. Рекомендуемая марка стали – 12Х18Н10Т по ГОСТ 9941.

8.3 При расчете потребного расхода воды в котельной рекомендуется считать время взятия одной пробы 5 мин (4,5 мин продувка трубы водой, после чего взятие пробы). Расход воды на охлаждение пробы следует принимать:

- для пара $P \geq 0{,}07$ МПа и перегретой воды – 0,13 м^3 за 4,5 мин;

- для пара $P \leq 0{,}07$ МПа горячей воды – 0,11 м^3 за 4,5 мин.

8.4 Качество питательной и котловой воды для паровых котлов и водогрейных котлов, а также тепловых сетей с температурой нагрева выше 115 °С необходимо контролировать ежедневно. Качество воды водогрейных котлов, а также тепловых сетей с температурой нагрева до 115 °С необходимо контролировать один раз в декаду.

9 Методика расчета установки химводоподготовки

9.1 Алгоритм расчета напорных засыпных фильтров

1) Подбор фильтрующей загрузки в напорные засыпные фильтры осуществляется в зависимости от концентрации удаляемых загрязнений в исходной и фильтрованной воде.

По рекомендации производителя подобранного фильтрующего материала выбираются технологические параметры для расчета фильтров:

$v_ф$ – расчетная скорость фильтрования, м/ч;

$i_{взр}$– интенсивность взрыхления (обратной промывки), дм^3/(м$^2 \cdot$ с);

$t_{взр}$ – продолжительность взрыхляющей промывки, мин;

$t_{отм}$ – продолжительность выпуска первого фильтрата, мин;

$v_{отм}$ – скорость выпуска первого фильтрата, м/ч.

Общую площадь фильтрования $F_ф$, м^2, определяют по формуле

$$F_ф = \frac{Q}{v_ф}, \quad (18)$$

где Q – расход воды, м^3/ч.

2) Рассчитывают число фильтров по формуле

$$n_ф = \frac{F_ф}{f_ф} \quad (19)$$

где $f_ф$ – площадь одного фильтра, м^2.

3) Проверяют фактическую скорость фильтрации $v_ф$, м/ч, при принятом количестве с заданной площадью:

$$v_ф = \frac{Q_1}{n_ф \cdot f_ф}. \quad (20)$$

Фильтрующая способность загрузки фильтров восстанавливается обратной промывкой.

При определении числа фильтров одновременно в режиме промывки должно быть не более одного фильтра. При этом скорость фильтрования в форсированном режиме $v_ф$, м/ч, определяют по формуле

$$v'_ф = \frac{Q_1}{(n_ф - 1) \cdot f_ф}. \quad (21)$$

4) Рассчитывают объемы воды на собственные нужды фильтров:

4.1) Объем воды на взрыхление фильтрующей загрузки, м^3:

$$V_{взр} = \frac{i_{взр} \cdot f_ф \cdot t_{взр} \cdot 60}{1000}. \quad (22)$$

4.2) Объем воды на сброс первого фильтрата (отмывка) рассчитывают по формуле

$$V_{\text{отм}} = \frac{V_{\text{отм}} \cdot f_{\text{ф}} \cdot t_{\text{отм}}}{60}. \quad (23)$$

4.3) Суммарный объем воды $V_{\text{ф}}$, м^3, на промывку одного фильтра:

$$V_{\text{ф}} = V_{\text{взр}} + V_{\text{отм}}. \quad (24)$$

Периодичность промывки фильтрующей материала фильтров – в зависимости от данных по грязеемкости материала. Объем воды на промывку всех фильтров в сутки определяют по формуле

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{ф}} \cdot n_{\text{ф}}. \quad (25)$$

9.2 Алгоритм расчета схемы подготовки воды при использовании ионообменных фильтров

9.2.1 Натрий-катионирование

1) Определяют потребность в химочищенной воде ($Q_{\text{па}}$), м^3/ч, в зависимости от требуемого значения жесткости.

2) Выбирают худшие показатели исходной воды, поступающей в котельную, по нескольким взятым в разное время года анализам.

3) Определяют тип катионита (ионообменной смолы), который будет заложен в фильтры, и его физико-химические свойства, в первую очередь – ионно-обменную способность $E_{\text{п}}$.

4) Выбирают размер фильтра исходя из скорости фильтрования раздельно для первой и второй ступеней, м/ч:

$$W = \frac{Q_{\text{па}}}{f}, \quad (26)$$

где f – рабочая площадь фильтра, м^2.

Скорость фильтрования зависит от конструкции фильтра и его места в схеме ХВП (первая или вторая ступень), информация представляется предприятием – производителем фильтров.

5) Определяется количество солей жесткости, г-экв/сут, удаляемых на фильтрах первой ступени:

$$A_1 = 24 \cdot Q_{na1} \cdot Ж_о. \quad (27)$$

6) Определяется количество солей жесткости, г-экв/сут, удаляемых на фильтрах второй ступени:

$$A_2 = 24 \cdot Q_{na2} \cdot Ж_{о1}. \quad (28)$$

7) Определяют рабочую обменную способность катионита:

$$E^{na}_р = a_э \cdot \beta_{Na} \cdot E_п - 0{,}5q \cdot Ж_о, \quad (29)$$

где $a_э$ – коэффициент эффективности регенерации, учитывающий неполноту регенерации катионита в зависимости от удельного расхода соли. Значения приведены в таблице 9.1, принимают в диапазоне от 0,62 до 0,9;

β_{Na} – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита по Ca^+ и Mg^+ за счет задержания Na^+ принимается в пределах от 0,93 до 0,5 в зависимости от отношения $C^2_{na}/ Ж_о$, где C^2_{na} – концентрация натрия в умягченной воде, мг-экв/л. Данные приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.1

Удельный расход поваренной соли на регенерацию катионита, г на г-экв рабочей обменной емкости	100	150	200	250	300
Коэффициент эффективности регенерации катионита $a_э$	0,62	0,74	0,81	0,86	0,90

Таблица 9.2

$C^2_{na}/ Ж_о$	0,01	0,05	0,1	0,5	1	5	10
β_{Na}	0,93	0,88	0,83	0,70	0,65	0,54	0,50

Определяется количество регенераций фильтров в сутки (допускается не более трех, в случае превышения необходимо взять следующий типоразмер фильтра).

$$N = \frac{A}{(f \cdot H_{сл} \cdot E_{пар} \cdot a)}$$ для первой и второй ступеней, (30)

где $H_{сл}$ – высота слоя ионообменной смолы, м.

8) Определяют суточный и месячный расход 100 % соли на регенерацию для фильтров первой и второй ступеней:

$$Q_c = \frac{(E_{пар} \cdot f \cdot H_{сл} \cdot q_c)}{1000}.$$ (31)

9) Определяется расход воды на регенерацию.

Расход воды слагается из расхода на промывку $Q_{взр}$, расхода на приготовление раствора $Q_{р.р}$, расхода на отмывку $Q_{от}$, м^3:

$$Q_{сп} = Q_{взр} + Q_{р.р} + Q_{от},$$ (32)

$$Q_{взр} = \frac{(i \cdot f \cdot 60 \cdot t_{взр})}{1000},$$ (33)

$$Q_{р.р} = \frac{(Q_c \cdot 100)}{1000} \cdot b \cdot p_{р\cdot р},$$ (34)

$$Q_{от} = q_{от} \cdot f \cdot H.$$ (35)

10) Определяют состав загрязняющих веществ и их концентрацию в сбросной воде:

$$Ж_c = \frac{f \cdot H_{сл} \cdot E_{пар}}{1000}.$$ (36)

При этом при определении количества [$CaCl_2$] и [$MgCl_2$] в сбросной воде принимают процентное соотношение солей кальция и магния в исходной воде (aCa; aMg).

$$[CaCl_2] = Ж_c \cdot aCa; \quad [MgCl_2] = Ж_c \cdot aMg.$$ (37)

Количество $CaCl_2$ и $MgCl_2$, т/сут, определяют по формулам:

$$[CaCl_2] = \frac{55{,}5 \cdot [CaCl_2] \cdot n}{1000},$$ (38)

$$[MgCl_2] = \frac{47,6 \cdot [MgCl_2] \cdot n}{1000}. \quad (39)$$

9.2.2 Водород-натрий-катионирование

9.2.2.1 Водород-натрий катионирование применяют для снижения общей жесткости и щелочности. Используемые схемы приведены в таблице 9.3.

Таблица 9.3

Технологическая схема	Результат обработки воды	Рекомендации к применению
1 Параллельное водород-натрий-катионирование	$Ж_о$ = 0,1 мг-экв/дм^3; $Щ_о$ = 0,4 мг-экв/дм^3; снижение солесодержания	$Na_{исх}$< 2 мг-экв/дм^3; $Cl_{исх} + SO_4^{2+}$< 4мг-экв/дм^3 при невозможности применения схемы с «голодной» регенерацией
2 Последовательное водород-натрий-катионирование с «голодной» регенерацией водород-катионитных фильтров	$Ж_о$ = 0,01 мг-экв/дм^3; $Щ_о$ = 0,01мг-экв/дм^3; снижение солесодержания	При подготовке – добавка воды к питательной воде паровых котлов
3 Водород-катионирование с «голодной» регенерацией и последующим фильтрованием через буферные саморегенерирующиеся катионитные фильтры	$Ж_о = Ж_к$+(0,7…1,5) мг-экв/дм^3; $Щ_о \leq$ 0,7–1,5 мг-кв/дм^3; снижение солесодержания	Если требуется поддержание остаточной жесткости, щелочности и pH в строго определенных пределах

9.2.2.2 Параллельное водород-натрий-катионирование

Соотношения расходов воды, подаваемой на водород-катионитные и натрий-катионитные фильтры, м^3/ч, определяют по следующим формулам:

- на водород-катионитные фильтры $Q^{\text{Н}}_{\text{пол}}$

$$Q^{\text{Н}}_{\text{пол}} = Q_{\text{пол}} \frac{\text{Щ}_{\text{о}} - \text{Щ}_{\text{у}}}{\text{Щ}_{\text{о}} + A}; \quad (40)$$

- на натрий-катионитные фильтры $Q^{\text{Na}}_{\text{пол}}$

$$Q^{\text{Na}}_{\text{пол}} = Q_{\text{пол}} - Q^{H}_{\text{пол}}, \quad (41)$$

где $Q_{\text{пол}}$ – полезная производительность водород-натрий-катионитной установки, м^3/ч;

$\text{Щ}_{\text{о}}$ – щелочность исходной воды, мг-экв/дм^3;

$\text{Щ}_{\text{у}}$ – требуемая щелочность умягченной воды, мг-экв/дм^3.

A – суммарное содержание анионов сильных кислот (сульфатов, хлоридов, нитратов и др.), мг-экв/дм^3.

Характеристики катионита по данным предприятия-производителя представлены в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – **Характеристики катионита по данным предприятия-производителя**

Параметр	Обозначение	Ед. изм.	Примечание
1 Полная ионообменая емкость катионита в нейтральной среде	$E_{полн}$	г-экв/м^3	–
2 Минимальная высота слоя	$\text{Н}^{\text{Н}}_{\text{кат.мин}}$	м	–
3 Скорость пропуска регенерационного раствора	$\text{v}^{\text{Н}}_{\text{рр}}$	м/ч	–

4 Скорость потока воды при взрыхлении*	$v_{взр}$	м/ч	При минимальной температуре и расширении 50 %
5 Интенсивность взрыхления при расширении слоя*	$i_{взр}$	$дм^3/(м^2 \cdot с)$	При минимальной температуре и расширении 50 %
6 Удельный расход воды на взрыхление	$g_{взр}$	–	–
7 Скорость потока воды на отмывку	$v_{отм}^{Н}$	м/ч	–
8 Удельный расход воды на отмывку	$g_{отм}$	$м^3/м^3$	4–5
* Взаимосвязанные показатели.			

1) Выбор удельного расхода соли для регенерации натрий-катионитных фильтров проводят так же, как при расчете натрий-катионирования.

Удельный расход серной кислоты $g_{кисл}$, г/г-экв, поглощенных катионов для регенерации катионита определяют по рисунку 9.1 в зависимости от требуемой жесткости фильтрата.

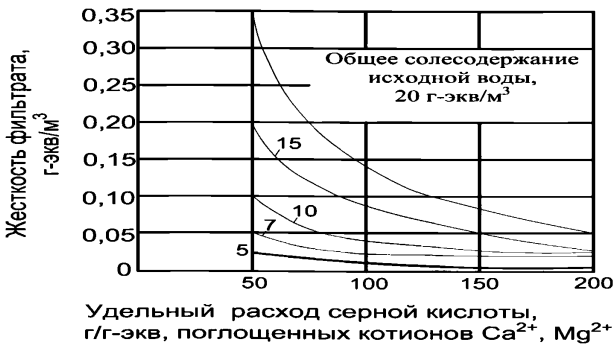


Рисунок 9.1 **– График для выбора удельного расхода серной кислоты для регенерации катионита в зависимости от требуемой жесткости фильтрата**

2) Определяют рабочую ионообменную емкость выбранного катионита.

Рабочую ионообменную емкость катионита $E^{H}_{\text{раб}}$, г-экв/м^3, при водород-катионировании определяют по формуле

$$E^{H}_{\text{раб}} = \alpha_{\text{э}} \cdot E_{\text{полн}} - 0{,}5 \cdot g_{\text{отм}} \cdot C_{\text{к}}, \qquad (42)$$

где $E_{\text{полн}}$ – паспортная полная ионообменная емкость катионита в нейтральной среде;

$\alpha_{\text{э}}$ – коэффициент эффективности регенерации, учитывающий неполноту регенерации (по данным предприятия-производителя или по таблице 9.5);

$q_{\text{отм}}$ – удельный расход на отмывку, принимаемый равным 4–5 м^3 воды на 1 м^3 катионита;

$C_к$ – общее содержание в воде катионов кальция, магния, натрия и калия, г-экв/м^3.

При отсутствии данных предприятия–производителя катионита допускается принимать значение $\alpha_э$ в зависимости от удельного расхода серной кислоты $g_{кисл}$ по таблице 9.5.

Таблица 9.5

$g_{кисл}$	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	200	250
$\alpha_э$	0,68	0,71	0,75	0,78	0,82	0,85	0,86	0,87	0,89	0,9	0,91	0,92	0,93

3) Необходимый объем катионита $W^H_{кат}$, м^3, в водород-катионитных фильтрах определяют по формуле

$$W^H_{кат} = \frac{24 \cdot Q^{Na}_{пол} \cdot (Ж_{о.исх} + Na_{исх})}{m_{рег} \cdot E^H_{раб}}, \quad (43)$$

где $m_{рег}$ – число регенераций каждого фильтра в сутки (принимают от одной до трех);

$$W^H_{кат} = \frac{24 \cdot Q^{Na}_{пол} \cdot Ж_{о.исх}}{m_{рег} \cdot E^{Na}_{раб}}, \quad (44)$$

где $E^{Na}_{раб}$ – рабочий обменный объем натрий-катионита (рассчитывают, как при натрий-катионировании).

4) Определяют площадь водород-катионитных $F^{H}_{кат}$, м^2, и натрий-катионитных фильтров $F^{Na}_{кат}$, м^2, по формулам:

$$F_{\text{кат}}^{\text{Na}} = \frac{W_{\text{кат}}^{\text{Na}}}{H_{\text{кат}}^{\text{Na}}}, \quad (45)$$

$$F_{\text{кат}}^{\text{Na}} = \frac{W_{\text{кат}}^{H}}{H_{\text{кат}}^{\text{H}}}, \quad (46)$$

где $H_{\text{кат}}^{\text{Na}}$, $H_{\text{кат}}^{\text{H}}$ – высота слоя катионита в фильтре, м.

5) Выбирают число рабочих фильтров:

$$n_{\text{ф}}^{\text{Na}} = \frac{F_{\text{кат}}^{\text{Na}}}{f_{\text{кат}}^{\text{Na}}}, \quad (47)$$

$$n_{\text{ф}}^{\text{H}} = \frac{F_{\text{кат}}^{\text{H}}}{f_{\text{кат}}^{\text{H}}}, \quad (48)$$

где $f_{\text{кат}}^{\text{Na}}$, $f_{\text{кат}}^{\text{H}}$ – площадь одного фильтра, м^2.

6) Расход соли и воды на регенерацию, продолжительность регенерации натрий-катионитных фильтров определяют, как при натрий-катионировании.

7) Расход кислоты на регенерацию водород-катионитных фильтров определяют в такой последовательности:

- рассчитывают фактическое число регенераций каждого фильтра в сутки по формуле

$$m_{\text{рег.факт}} = \frac{24 \cdot Q^{\text{H}} (Ж_{\text{о.исх}} - Ж_{\text{о.ост}})}{f_{\text{кат}}^{\text{H}} \cdot H_{\text{кат}}^{\text{H}} \cdot E_{\text{раб}}^{\text{H}} \cdot n_{\text{ф}}^{H}}, \quad (49)$$

где $Ж_{\text{о.ост}}$ – остаточная общая жесткость воды после водород-катионитных фильтров, мг-экв/дм^3;

- расход 100% кислоты на одну регенерацию фильтра $G_{\text{кисл}}$, кг, определяют по формуле

$$G_{\text{кисл}} = \frac{g_{\text{кисл}} \cdot f_{\text{кат}}^{\text{Н}} \cdot H_{\text{кат}}^{\text{Н}} \cdot E_{\text{раб}}^{\text{Н}}}{1000}, \quad (50)$$

- расход кислоты в сутки $G_{\text{кисл.сут}}$, кг/сут, определяют по формуле

$$G_{\text{кисл.сут}} = \frac{G_{\text{кисл}} \cdot m_{\text{рег.факт}} \cdot n_{\text{ф}}^{H} \cdot 100}{p}, \quad (51)$$

где p – содержание кислоты в используемом товарном продукте, %.

8) Расчет расхода воды на собственные нужды водород-катионитных фильтров

8.1 Объем воды на регенерацию одного фильтра $Q_{\text{с.н}}^{\text{Н}}$, м^3:

$$Q_{\text{с.н.}}^{\text{Н}} = Q_{\text{взр}}^{\text{Н}} + Q_{\text{рр}}^{\text{Н}} + Q_{\text{отм}}^{\text{Н}}, \quad (52)$$

где $Q_{\text{взр}}^{\text{Н}}$ – расход воды на взрыхляющую промывку одного фильтра, м^3; при использовании воды от отмывки для взрыхления не учитывается при расчете объема воды на собственные нужды;

$Q_{\text{рр}}^{\text{Н}}$ – расход воды на приготовление регенерационного раствора, м^3;

$Q_{\text{отм}}^{\text{Н}}$– расход воды на отмывку, м^3;

$Q_{\text{ф}}^{\text{Н}}$– расход воды на сброс первого фильтрата, м^3; данная ступень очистки может не предусматриваться (необходимо учитывать при определении рабочего объема).

8.2 Расход воды на взрыхляющую промывку:

$$Q_{\text{отм}}^{\text{Н}} = \frac{i_{\text{взр}} \cdot f_{\text{кат}}^{\text{Н}} \cdot t_{\text{взр}} \cdot 60}{1000}, \quad (53)$$

где $i_{взр}$ – интенсивность подачи воды для взрыхления катионита, дм^3/(с·м^2); (при отсутствии рекомендаций предприятия–производителя катионита допускается принимать 4 дм^3/(с·м^2) при крупности зерен катионита 0,5–1,1 мм и 5 дм^3/(с·м^2) при крупности зерен катионита 0,8–1,2 мм);

$t_{взр}$ – продолжительность взрыхляющей промывки, мин; принимают в зависимости от возможной загрязненности слоя.

8.3 Расход воды на приготовление регенерационного раствора $Q^{н}_{рр}$, м^3 определяют по формуле

$$Q^{н}_{рр} = \frac{G_{кисл} \cdot 100}{1000 \cdot C_{р\cdot р} \cdot \rho_{р\cdot р}} \quad , \qquad (54)$$

где $G_{р\cdot р}$ – концентрация рабочего регенерационного раствора, % (при использовании серной кислоты 1 % – 1,5% либо по рекомендации предприятия-производителя, в том числе при использовании других кислот);

$\rho_{р\cdot р}$ – плотность рабочего регенерационного раствора, кг/дм^3 (справочная величина).

8.4 Расход воды на отмывку $Q^{н}_{отм}$, м^3, определяют по формуле

$$Q^{н}_{отм} = g_{отм} \cdot f^{н}_{кат} \cdot H^{н}_{кат}, \qquad (55)$$

где $g_{отм}$ – удельный расход воды на отмывку катионита, м^3/м^3, принимают по данным предприятия–производителя катионита, при отсутствии данных принимают равным 4÷5 м^3/м^3.

8.5 Расход воды на сброс первого фильтрата рассчитывают по формуле

$$Q^{н}_{ф} = g_{ф} \cdot f^{н}_{кат} \cdot H^{н}_{кат}, \qquad (56)$$

где $g_{ф}$ – удельный расход воды на сброс первого фильтрата, м^3/м^3, принимают по данным предприятия–производителя катионита.

8.6 Продолжительность регенерации фильтра $t_{\text{рег}}^{\text{Н}}$, мин, определяют по формуле

$$t_{\text{рег}}^{\text{Н}} = t_{\text{взр}} + t_{\text{пр}}^{\text{Н}} + t_{\text{отм}}^{\text{Н}}\,, \tag{57}$$

где $t_{\text{рег}}^{\text{Н}}$ – продолжительность пропускания регенерационного раствора, мин;

$t_{\text{отм}}^{\text{Н}}$ – продолжительность отмывки, мин.

8.7 Продолжительность пропускания регенерационного раствора, мин, определяют по формуле

$$t_{\text{пр}}^{\text{Н}} = \frac{Q_{\text{пр}}^{\text{Н}} \cdot 60}{v_{\text{пр}}^{\text{Н}} \cdot f_{\text{кат}}^{\text{Н}}}\,, \tag{58}$$

где $v_{\text{пр}}^{\text{Н}}$ – скорость пропускания регенерационного раствора, м/ч (по данным предприятия-производителя, при отсутствии данных принимают не более 10 м/ч).

8.8 Продолжительность отмывки, мин, определяют по формуле

$$t_{\text{отм}}^{\text{Н}} = \frac{Q_{\text{отм}}^{\text{Н}} \cdot 60}{v_{\text{отм}}^{\text{Н}} \cdot f_{\text{кат}}^{\text{Н}}}\,, \tag{59}$$

где $v_{\text{отм}}^{\text{Н}}$ – скорость пропускания фильтрующей воды для отмывки, м/ч, принимают по данным предприятия-производителя, при отсутствии данных принимают 10 м/ч).

8.9 Межрегенерационный период каждого фильтра, ч, рассчитывают по формуле

$$T_H = \frac{24}{m_{\text{рег.факт}}} - \frac{t_{\text{рег}}^{\text{Н}}}{60}\,. \tag{60}$$

8.10 Число одновременно регенерируемых фильтров рассчитывают по формуле

$$n_{\text{ор}}^{\text{Н}} = \frac{m_{\text{рег.факт}} \cdot n_{\text{ф}}^{\text{Н}} \cdot t_{\text{рег}}^{\text{Н}}}{24}\,. \tag{61}$$

9.2.2.3 Последовательное водород-натрий-катионирование с «голодной» регенерацией

Применение данного метода подразумевает водород-катионирование всего потока воды с последующей дегазацией и натрий-катионированием. Удельный расход кислоты на регенерацию практически равен стехиометрическому. Ионообменная емкость и характеристики фильтроцикла зависят от ионного состава обрабатываемой воды и принимаются в соответствии с данными таблицы 9.6.

Таблица 9.6

Исходная вода	$E_{раб}^{Нг}$	$g_{кисл}$	Примечание
1 Слабо- и средне-минерализованная: $0 < K < 1$ $1 > A > 0{,}5$	300 (600)	49	В течение фильтроцикла щелочность фильтрата изменяется незначительно
2 Средне- и высоко-минерализованная: $K > 1$ $1 < A < 10$	250 (500)	49	Средняя щелочность за фильтроцикл не менее 0,7–0,8 мг-экв/дм^3; жесткость появляется в средней части фильтроцикла, а затем быстро снижается
Примечание – В настоящей таблице применены следующие обозначения: K – характеристика катионного состава исходной воды: соотношение содержания натрия к суммарному содержанию кальция и магния (общей жесткости), мг-экв/дм^3, т. е. $Na^+/Ж_о$; A – характеристика анионного состава исходной воды: соотношение содержания гидрокарбонатов к суммарному содержанию сульфатов и хлоридов, т. е. $\frac{HCO_2}{Cl-+SO_4}$			

$E_{раб}^{Нг}$ – рабочая ионообменная емкость катионита при водород-катионировании с «голодной» регенерацией, г-экв/м^3; принимают по данным предприятия-производителя в условиях данной схемы работы (в настоящей таблице приведены данные для катионитов типов сульфоуголь, КБ-4);

$g_{кисл}$ – удельный расход кислоты на регенерацию; в настоящей таблице приведены данные для серной кислоты;

$Щ_{о.ост}$ – щелочность обработанной воды, мг-экв/дм^3.

Число регенераций каждого водород-катионитного фильтра (от 1 до 3) определяют по формуле

$$m_{рег} = \frac{24 \cdot Q^{Н} (Ж_{к.исх} - Ж_{к.ост})}{f_{кат}^{Н} \cdot H_{кат}^{Н} \cdot E_{раб}^{Нг} \cdot n_{ф}^{Н}}, \quad (62)$$

где $Q^{Н}$ – расход водород-катионированной воды, м^3/ч;

$Ж_{к.исх}$, $Ж_{к.ост}$ – карбонатная жесткость исходной воды и карбонатная жесткость водород-катионированной воды соответственно (принимаются в зависимости от требований от 0,7 до 1,5), мг-экв/дм^3.

9.2.2.4 Водород-катионирование с «голодной» регенерацией и последующим фильтрованием через буферные саморегенерирующиеся катионитные фильтры

В данной схеме после водород-катионитных фильтров предусматривают дополнительную ступень буферных фильтров, загруженных катионитом, которые позволяют устранить колебания щелочности в фильтрате водород-катионитных фильтров и предотвращают появление кислого фильтрата.

Скорость фильтрования в буферных фильтрах принимают до 40 м/ч. Следует предусматривать возможность регенерации буферных фильтров раствором поваренной соли.

Приложение А

Требования к качеству питательной воды для паровых газотрубных котлов

Таблица А.1

Показатель	Для котлов, работающих на топливе	
	жидком	других видах топлива
Прозрачность по шрифту, см, не менее	40	20
Общая жесткость, мг-экв/дм^3	30	100
Содержание растворенного кислорода (для котлов с паропроизводительностью 2 т/ч	50*	100
* Для котлов, не имеющих экономайзеров, и котлов с чугунными экономайзерами содержание растворенного кислорода допускается от 100 мкг/дм^3.		

Приложение Б

Нормы качества питательной воды для водотрубных котлов с естественной циркуляцией с рабочим давлением пара до 4 МПа

Таблица Б.1

Показатель	Рабочее давление, МПа			
	0,9	1,4	2,4	4
Прозрачность по шрифту, см, не менее	30	40	40	40
Общая жесткость, мг-экв/дм^3	30 * / 40	15 * / 20	10 * / 15	5 * / 10
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/дм^3	Не нормируется	300* Не нормируется	100* / 200	50 * / 100
Содержание соединений меди (в пересчете на Fe), мкг/дм^3	Не нормируется			10 * / Не нормируется
Содержание растворенного кислорода (для котлов с паропроизводительностью 2 т/ч и более)**, мкг/дм^3	50 * / 100	30 * / 50	20 * / 50	20 * / 30
Значение pH при 25 °С***	8,5–10,5			
Содержание нефтепродуктов, мг/дм^3	5	3	3	0,5

* В числителе указаны значения для котлов, работающих на жидком топливе, в знаменателе – на других видах топлива.

** Для котлов, не имеющих экономайзеров, и для котлов с чугунным экономайзерами содержание растворенного кислорода допускается до 100 мкг/дм^3 при сжигании любого вида топлива.

*** В отдельных обоснованных случаях может быть допущено снижение значения pH до 7,0.

Приложение В

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

Таблица В.1

Показатель	Для котлов, работающих на топливе	
	жидком	других видах топлива
Общая жесткость, мкг-экв/дм^3	1	3
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/дм^3	20	30
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/дм^3	5	5
Содержание растворенного кислорода,	10	10
Значение pH при 25 °С*	9,1 ± 0,1	9,1 ± 0,1
Содержание нефтепродуктов, мкг/дм^3	0,3	0,3
* При восполнении потерь пара и конденсата химочищенной водой допускается повышение значения pH до 10,5.		

Библиография

[1] Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением», утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 марта 2014 г. № 116

[2] РД 24.031.120-91 Методические указания. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля

Ключевые слова: инженерные системы, подготовка воды, водно-химическая обработка, паровые и водогрейные котлы, тепловые сети, контуры теплоснабжения, химический режим, обработка воды, водно-химический режим, контроль водно-химического режима, контроль химического режима, алгоритм расчета, натрий-катионирование, водород-натрий-катионирование, регенерация фильтров

gost.e-ecolog.ru