Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра химии и инженерной экологии в строительстве

Расчет основного оборудования стадии умягчения воды водоподготовки котельных

Методические указания к выполнению расчетно-графической работы
по курсу "Химия воздуха и воды"
для студентов факультета инженерных систем и экологии
специальности 270109 дневной и заочной форм обучения

Казань
2010

Составитель : Л.И.Лаптева.

УДК 541.1 : 546(07.1) : 547.1

Методические указания к выполнению расчетно-графической работы по расчету основного оборудования стадии умягчения воды для котельных установок для студентов факультета инженерных систем и экологии специальности 270109 дневной и заочной формы обучения/ Каз.гос.арх.-строит.университет.; Сост. Л.И.Лаптева. Казань, 2010. 24 с., 6 табл., 1 рис., приложение 1.

Методические указания предназначены для самостоятельной работы студентов дневной и заочной формы обучения специальности 270109 по курсу " Химия воздуха и воды".

Рецензент доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет кандидат технических наук Ушакова Г.Г.,

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2011

Расчетная работа выполняется студентом в соответствии с номером задания предложенного преподавателем. Работа выполняется на листах формата А-4 с представленным расчетом основного оборудования и чертежом принципиальной схемы процесса водоподготовки.

ВВЕДЕНИЕ

Присутствие в воде значительного количества солей кальция и магния делает воду непригодной для многих технических целей. Так, при продолжительном питании паровых котлов жесткой водой их стенки постепенно покрываются плотной коркой накипи. Такая корка уже при толщине слоя в 1 мм сильно понижает передачу теплоты стенками котла и, следовательно, ведет к увеличению расхода топлива. Кроме того, она может служить причиной образования вздутий и трещин, как в кипятильных трубах, так и на стенках самого котла.

Поэтому с целью уменьшения образования накипи в котлах следует проводить умягчение воды.

Данное методическое пособие включают рекомендации по выбору схемы обработки воды для паровых котлов и справочный материал для расчета основного оборудования водоподготовительных установок – ионообменных фильтров. котлов небольшой мощности и имеют цель - оказать практическую помощь студентам специальности 270109 при выполнении ими задания по курсовому проекту по курсу “Котельные установки”.

Жесткость природных вод и ее устранение. Природная вода, содержащая в растворе большое количество солей кальция и магния, называется *жесткой водой* в противоположность *мягкой воде*, содержащей мало солей кальция и магния или совсем не содержащих их. Суммарное содержание этих солей в воде называется ее *общей* жесткостью. Она подразделяется на *карбонатную* и *некарбонатную* жесткость. Первая из них обусловлена присутствием гидрокарбонатов кальция $Ca(HCO_3)_2$ магния $Mg(HCO_3)_2$, вторая присутствием солей сильных кислот - сульфатов или хлоридов кальция и магния. При длительном

кипячении воды, обладающей карбонатной жесткостью, в ней появляется осадок, состоящий главным образом из $CaCO_3$ и $MgCO_3(OH)_2$, и одновременно выделяется CO_2 . Оба эти вещества появляются вследствие разложения растворенных в воде гидрокарбонатов кальция и магния, в результате чего образуются трудно растворимые средние или основные углекислые соли кальция и магния, которые выпадают в виде осадка:

$$Ca(HCO_3)_2 = CaCO_3 \downarrow + CO_2 \uparrow + H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 = Mg(OH)_2 \downarrow + CO_2 \uparrow + H_2O$$

$$2Mg(HCO_3)_2 = Mg(OH)_2CO_3 \downarrow + 3CO_2 \uparrow + H_2O$$

Поэтому карбонатную жесткость называют также *временной* жесткостью. Количественно временную жесткость характеризуют содержанием гидрокарбонатов, удаляющихся из воды при ее кипячении в течение часа. Жесткость, оставшаяся после такого кипячения называется *постоянной* жесткостью.

Жесткость воды выражают суммой миллиэквивалентов ионов кальция и магния, содержащихся в 1 л воды. Один миллиэквивалент жесткости отвечает содержанию 20,04 мг/л Ca^{2+} или 12,16 мг/л Mg^{2+} .

Жесткость природных вод изменяется в широких пределах. Она различна в разных водоемах, а в одной и той же реке изменяется в течение года (минимальна во время паводка). В таблице 1 приведены величины жесткости воды некоторых рек в летний период времени.

Таблица 1

Река	Пункт	Жесткость воды, мэкв/л		
		Общая	Карбонатная	Некарбонатная
Волга	Г.Вольск	5.9	3.5	2.4
Днепр	С.Разумовка	3.7	3.2	0.5
Дон	Ст.Аксакайская	5.6	4.3	1.3
Енисей	Г.Красноярск	1.3	1.2	0.1
Москва	С.Татарово	4.2	4.1	0.1
Нева	С.Ивановское	0.5	0.5	0

Жесткость вод морей значительно выше, чем рек и озер. Так, вода Черного моря имеет общую жесткость 65.5 мэкв/л. Среднее

значение жесткости воды мирового океана 130.5 мэкв/л (в том числе на Ca^{2+} приходится 22.5 мэкв/л, на Mg^{2+} - 108 мэкв/л.

По жесткости вода делится на следующие классы:

Класс воды	Содержание мэкв/л кальция и магния
Очень мягкая	1.5
Мягкая	1.5 - 3.0
Средняя	3.0 - 6.0
Жесткая	6.0 - 10
Очень жесткая	более 10

В зависимости от категории потребителей к воде предъявляются различные требования. Например, вода, поступающая для питания паровых котлов, не должна содержать солей кальция и магния, которые ведут к образованию накипи. Образование накипи в котле относится к вредным явлениям, так как: во-первых, увеличивается термическое сопротивление аппаратуры, во-вторых, нарушается нормальная циркуляция воды котле. Удаление солей жесткости, называемое *водоумягчением,* входит в систему водоподготовки - обработки природной воды, используемой для питания паровых котлов и для различных технологических процессов.

В ходе водоподготовки вода освобождается от грубодисперсных и коллоидных примесей и от растворенных веществ. Взвешенные и коллоидные примеси удаляют коагуляцией их добавляемыми к воде солями (обычно $Al_2(SO_4)_3$) с последующей фильтрацией.

Для водоумягчения применяют методы осаждения, катионного обмена или стабилизации жесткости воды. Путем осаждения катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} переводят в малорастворимые соединения, выпадающие в осадок. Это достигается либо **кипячением воды**, либо **химическим путем** - введением в воду соответствующих реагентов. При **кипячении** гидрокарбонаты кальция и магния превращаются в $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ (см стр.4) в результате чего устраняется <u>только</u> <u>карбонатная жесткость</u>. При химическом методе устранения жесткости происходит перевод хорошо растворимых солей в нерастворимые с помощью присадок химических реагентов. Наиболее дешевое осаждение солей временной жесткости достигается известкованием. Для этого в трубопровод сырой воды дозируется раствор известкового молока (гашеная известь). Химические превращения описываются реакциями:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$$

$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + Mg(OH)_2 + 2H_2O$

При химическом методе осаждения чаще всего в качестве осадителя пользуются известью $Ca(OH)_2$ или кальцинированной содой Na_2CO_3 . При этом в осадок переводятся все соли кальция и магния (также в виде $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$). В результате выпавшие в осадок соли могут быть отфильтрованы от умягченной воды.

Для устранения жесткости методом ионного обмена или *катионирования* воду пропускают через слой катионита. Катионирование основано на электролитической диссоциации вещества на ионы: положительные катионы и отрицательные анионы. При этом катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , находящиеся в воде, обмениваются на катионы Na^{+} , содержащиеся в применяемом катионите, и абсорбируются на зернах катионитного заполнителя фильтров. Катионный обмен протекает в строго эквивалентных количествах и при этом происходят следующие реакции обменного типа:

$Na_2R + Ca(HCO_3)_2 = CaR + 2NaHCO_3$

$Na_2R + Mg(HCO_3)_2 = MgR + 2NaHCO_3$

$Na_2R + CaCO_3 = CaR + Na_2CO_3$

$Na_2R + CaSO_4 = CaR + Na_2SO_4$

$Na_2R + MgSO_4 = MgR + Na_2SO_4$

$Na_2R + CaCl_2 = CaR + 2\ NaCl$

где R - составная часть катионита, кроме натрия, который вступает в ионный обмен. Образующиеся соли натрия под действием температуры и давления подвергаются гидролизу с образованием едкого натра, что увеличивает шелочность котловой воды. Катиониты - это практически нерастворимые в воде твердые вещества, обладающие способностью обменивать катион на другие катионы, которые находятся в воде в растворенном состоянии. Чтобы вытеснить катион кальция катионом натрия, концентрация катиона натрия должна быть в 2-3 раза больше, чем концентрация вытесняемого катиона кальция. Катиониты делятся на естественные и искусственные. Естественные катиониты: цеолит, глауконит и другие минералы группы алюмосиликатов. Искусственные катиониты: пермутит, который получается смешением раствора сернокислого алюминия с раствором соды или извести и жидкого стекла. Полученный гель отжимается, сушится при температуре 100-120°C, дробится и рассеивается на фракции. Эти катиониты имеют обменный катион натрия и называются Na -

катионитами. К искусственным катионитам также относятся: сульфированный уголь, который получается при обработке каменных углей олеумом или купоросным маслом, и искусственные смолы - высокомолекулярные органические соединения с высокодисперсной капиллярной структурой. Способность смол к ионному обмену достигается введением в их состав специальных групп, таких как: SO_3H, COOH, и фенольных -OH. Эти катиониты имеют обменный катион водорода и называются H - катионитами. К ним относятся катиониты марки КУ-1, КУ-2.

Когда процесс ионного обмена доходит до равновесия, ионит перестает работать - утрачивает способность умягчать воду, при этом жесткость отфильтрованной воды составляет не более 0.06 мэкв/л. Однако любой ионит легко подвергается регенерации. Для этого через катионит пропускают 8-10 % раствор NaCl при Na-катионировании. При этом ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} выходят в раствор, а катионит вновь насыщается ионами Na^{+}.

$$CaR + 2NaCl = CaCl_2 + Na_2R$$

Основным недостатком натрий-катионирования является превращение солей карбонатной и постоянной жесткости в натриевые соли - $NaHCO_3$, Na_2CO_3, Na_2SO_4, NaCl, которые обуславливают высокую щелочность котловой воды. Бикарбонат и карбонат натрия разлагаются в котле по следующей схеме:

$$NaHCO_3 + H_2O = NaOH + CO_2 + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + H_2O = 2NaOH + CO_2$$

Щелочность является основной причиной вспенивания котловой воды, а появление свободной CO_2 вызывает коррозию аппаратуры. Поэтому для понижения щелочности воду после фильтров обрабатывают специальными добавками, понижающими щелочность умягченной воды.

Целью настоящей работы является умягчение воды через Na-катионирование с последующей регенерацией фильтров; расчет и подбор катионитовых фильтров.

f. Норма качества воды и выбор схемы ее приготовления.

Качество воды характеризуется наличием и концентрацией в ней примесей. Химическое качество определяется ее сухим остатком, окисляемостью, концентрацией водородных ионов pH, содержанием

катионов, силикатов, кислорода и активного хлора. Химические свойства воды могут быть нейтральными, щелочными или кислыми.

Качество питательной воды для котлов при работе на давление 13 кгс/см^2 должно отвечать следующим нормам: **кислород - 0.1 мг/л; общая жесткость - 0.02 мг-экв/л; железо - 0.2 мг/л; масло - 5.0 мг/л; свободная угольная кислота должна отсутствовать.**

Качество подпиточной воды для тепловых сетей с открытой системой теплоснабжения должно отвечать нормам: кислород - 0.005 мг/л; карбонатная жесткость - 0.7 мг-экв/л; взвешенные вещества - 5 мг/л; pH = 7-8.5. При открытой системе теплоснабжения кроме перечисленных показателей подпиточная вода должна отвечать требованиям ГОСТа 2874-82 “Вода питьевая”. Нормы качества подпиточной воды для тепловых сетей с закрытой или открытой системой теплоснабжения принимаются по данным СНиП 2.04.07-86 * “Тепловые сети. Нормы проектирования”.

Основными критериями выбора схем обработки воды для паровых котлов являются:

1. Величина продувки котлов.
2. Относительная щелочность котловой воды.
3. Содержание углекислоты в паре.

По этим показателям проверяется, допустима ли наиболее простая схема обработки воды натрий-катионированием. Если схема натрий-катионирования не обеспечивает требуемые показатели, то переходят к другой схеме. В данном методическом пособии рассматривается схема двухступенчатого натрий-катионирования стадии умягчения воды, применяемая для паровых котлов марки ДКВР-6.5-13 и ДКВР-10-13.

1. Для удаления части солей шлама из паровых котлоагрегатов осуществляют продувку. Непрерывную продувку выполняют из тех участков верхнего барабана, где концентрация солей в воде наибольшая; периодическую продувку выполняют из мест, где может скапливаться шлам: из торцов нижнего барабана и с нижних образующихся коллекторов и нижнего барабана. Поскольку с водой, уходящей из котлоагрегатов выносится некоторое количество теплоты, размер продувки ограничивается максимальной величиной в 10% паропроводности котлоагрегатов.

При расчете величины продувки котлов необходимо знать величину сухого остатка как обработанной, так и котловой воды.

Сухим остатком называют количество примесей минерального и органического происхождения, мг/кг, полученное при упаривании воды и высушенное при 110° С. Если этот остаток прокаливать при 800°, то потери остатка будут условно характеризовать содержание органических веществ. Чем выше сухой остаток, тем хуже качество воды.

Сухой остаток обработанной воды складывается из суммы сухих остатков исходной и обработанной воды:

$$S_{о.в.} = S_{и.в.} + aS_{о.в.} \quad [\text{мг/л}] \quad (1)$$

$$aS_{о.в.} = 0.15\ Ca^{2+} + 0.89\ Mg^{2+} \quad [\text{мг/л}] \quad (2)$$

Таким образом размер продувки котлов определяется по формуле:

$$P = (S_{о.в.} \sim_{о.в.} 100) / S_{к.в.} - S_{о.в.} \sim_{о.в.}, \quad [\%] \quad (1)$$

где **P** - размер продувки по сухому остатку, % паропроизводительности;

$\sim_{о.в.}$ - доля обработанной воды в питательной воде;

$S_{о.в.}$ - сухой остаток обработанной воды, мг/л;

$S_{к.в.}$ - сухой остаток котловой воды, уходящей с продувкой, мг/л;

$S_{и.в.}$ - сухой остаток исходной воды, мг/л.

Необходимо отметить, величина $S_{к.в.}$ для котлов ДКВР- 6.5-13, имеющих механические внутрибарабанные сепараторы, принимается обычно $S_{к.в.}$ á **3000 мг/л**;
для котлов ДКВР - 13 -20, имеющих выносные циклоны при двухступенчатом испарении $S_{к.в.}$ á **10000 мг/л**.

Расчетная величина продувки для котлов, рассчитанных на давление $P \leq 14$ кгс/см^2 не должна превышать 10%, для котлов рассчитанных на давление $P \leq 20$кгс/см^2 составляет 7%. Определение величины продувки ведется для режима максимальных потерь пара и конденсата, выраженных в процентах от паропроизводительности котельной. Для снижения величины продувки рекомендуется улучшение сепарационных устройств котла и усложнение схемы водоподготовки, обеспечивающих снижение солесодержания.

2. Щелочность характеризуется содержанием в воде гидратов окиси

($NaOH$), карбоната ($NaCO_3$ - кальцинированная сода) и бикарбоната натрия ($NaHCO_3$). Щелочность устраняет коррозионное действие кислорода, но высокая щелочность вызывает вспенивание воды и коррозию латунных трубок подогревателей. Щелочность воды оценивается водородным показателем pH. В результате диссоциации молекулы воды образуются катионы H^+ и анионы OH^-, общая концентрация ионов при 22^oC равна 10^{-14} г-ион/л. В нейтральной среде концентрация катионов и анионов одинакова и равна 10^{-7}г-ион/л. Условно принято пользоваться вместо величин концентрации ионов их отрицательным логарифмом. Поэтому в кислой среде преобладают катионы водорода и pH<7, в щелочной - преобладают анионы гидроксильной группы pH>7.

3. Относительная щелочность котловой воды определяется по формуле:

$$Щ^{отн.}_{к.в.} = Щ^{отн.}_{о.в.} = 40Щ_{о.в.}\ 100 / S_{о.в.}, \quad [\%] \quad (4)$$

где $Щ^{отн.}_{к.в.}$ - относительная щелочность котловой воды, %;

$Щ^{отн.}_{к.в.}$ - относительная щелочность обработанной воды, %;

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

$S_{о.в.}$ - сухой остаток обработанной воды, мг/л;

40 - эквивалент NaOH.

Щелочность обработанной воды следует принимать для схемы натрий катионирования равной щелочности исходной воды:

$Щ_{о.в.} = Щ_{и.в.}$ ù $Ж_к$, где $Ж_к$ –карбонатная жесткость исходной воды, (мг-экв/л) . Относительная щелочность котловой воды $Щ_{к.в}^{отн}$ для паровых котлов не должно превышать **20%.** При щелочности воды больше 20% необходимо предусмотреть операцию для снижения щелочности , например, нитратирование воды.

4. Содержание углекислоты в паре при деаэрации питательной воды с барботажем определяют по формуле:

$$CO_2 = 22Щ_{о.в.} \sim_{о.в.} (\pm_1 + \pm), \quad [мг/л], \quad (5)$$

где CO_2 - концентрация углекислоты в паре , мг/кг;

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

± - доля разложения Na_2CO_3 в котле; принимается по давлению в котле (при P=14 кгс/см^2 ± **= 0.7**);

$\pm_1$ - доля разложения $NaHCO_3$ в котле, принимается

равной $\pm_1$ **=0.4** (60% разлагается в барботажном деаэраторе);

$\sim_{о.в.}$ = **0.5** - доля обработанной воды в питательной воде.

Допустимое содержание углекислоты в паре составляет 20 мг/кг. Находящуюся в воде углекислоту подразделяют на *связанную* и *свободную.*

Связанная углекислота - это углекислота, входящая в состав химических соединений (гидрокарбонатов и карбонатов), т.е. находится в воде в виде анионов HCO_3^- и CO_3^{2-} .

Свободную углекислоту (т.е. растворенный в воде углекислый газ) можно разделить на ***равновесную и агрессивную***.

Количество равновесной кислоты в воде определяется химическим равновесием, выраженным уравнением:

$$Ca(HCO_3)_2 \text{ ę } CaCO_3 \text{ í } + H_2O + CO_2,$$

которое носит название углекислотного равновесия воды. При недостатке в растворе равновесной кислоты реакция диссоциации смещается вправо, т.е. происходит разложение бикарбонатов. Разложение бикарбонатов прекращается с образованием равновесной углекислоты.

Агрессивная углекислота, находящаяся в воде, не является коррозионным агентом, но косвенно она может способствовать коррозии металла. Она, растворяя карбонатную часть отложений на внутренней поверхности котлов, оголяет металлическую поверхность котлов и создает благоприятные условия для коррозии металла. Для предотвращения углекислотной коррозии рекомендуется проводить следующие мероприятия: дегазация конденсата; аминирование питательной воды; применение схемы обработки воды, снижающей содержание связанной углекислоты в исходной воде.

ff. РАСЧЕТ НАТРИЙ-КАТИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ.

На рис.1 представлена принципиальная схема умягчения воды Na-катионированием. Схема отражает две стадии процесса: умягчение воды, поступающей на фильтры и регенерация самих фильтров.

Умягчение воды. Сырая вода насосами 1 подается на теплообменники 2, где подогревается сначала до температуры 25^0C и затем до температуры 45^0C. Процесс подогрева умягчаемой воды

проводится для более полного извлечения солей жесткости. После теплообменников вода поступает на фильтры первой ступени.

Умягчение воды путем натрий-катионирования можно осуществлять либо по одноступенчатой схеме (применяется один фильтр), либо по двухступенчатой - последовательное фильтрование через фильтр первой, а затем второй ступени. Количество натрий-катионитных фильтров первой ступени, если установка работает круглосуточно принимается не менее двух, и, кроме того, один резервный. На второй ступени катионирования обычно устанавливается два фильтра специальной конструкции с высотой слоя катионита 1.5 м. В небольших водоподготовительных установках в целях сокращения количества устанавливаемого оборудования и его унификации допускается для второй ступени катионирования применение фильтра конструкции первой ступени. При этом устанавливается не менее четырех фильтров, из них два - первой ступени, один – второй ступени и один – резервный, обычно используемый для работы на второй ступени в период регенерации основного фильтра и в качестве резервного – при ремонте одного из фильтров.

Схема одноступенчатого катионирования имеет следующие недостатки: получение фильтра с жесткостью до 0.1 мг-экв/л возможно при умягчении исходной воды с жесткостью не более 7 мг-экв/л;

практически невозможно получение глубокого умягчения воды с остаточной жесткостью 0.01 – 0.02 мг-экв/л ;

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 фильтре сравнительно быстро.

При двухступенчатом катионировании перечисленные недостатки устраняются.

Число ступеней катионирования определяется требованиями к качеству умягченной воды. Например, приготовление воды для паровых котлов, когда требуется глубоко умягчение, осуществляется путем двухступенчатого натрий-катионирования; для теплосетей, когда требуется снижение только карбонатной жесткости до 0.7 мг-экв/л, достаточно одноступенчатого натрий-катионирования с отключением фильтра на регенерацию при общей жесткости фильтрата 0.1-0.2мг-экв/л. Принципиальная схема натрий-катионирования представлена на рис.1. Исходные данные

для расчета по значениям жесткости исходной воды и сухому остатку задаются по приложению 1.

Основные данные для расчета натрий-катионитных фильтров приведены в таблице 2. Как видно из таблицы скорости фильтрования воды на фильтрах первой и второй ступени различны. Скорость фильтрования менее 5 м/ч не рекомендуется из-за возможного снижения обменной емкости катионита. Скорость фильтрования в фильтрах первой ступени принимается по таблице 2 в зависимости от жесткости исходной воды, а скорость фильтрования на фильтрах второй ступени (при высоте слоя катионита 1.5 м) допускается до 50 м/ч.

Таблица 2

Технологические данные для рсчета натрий – катионитных фильтров

Показатель	Фильтр 1 ступени	Фильтр 2 ступени
1	2	3
Высота слоя катионита, м	2 –2.5	1.5
Крупность зерен катионита, мм	0.5 - 1.1	0.5 - 1.1
Скорость фильтрования, м/ч, нормальная, в скобках максимальная (при регенерации одного из фильтров), при жесткости, мг-экв/л: До 5 До 10 До 15	 25(35) 15(25) 10(20)	 40(50) - -
Потери напора на фильтрах, м.вод.ст. (в скобках – при загрузке мелкого катионита с крупностью зерен 0.3-.0.8), при скорости фильтрования, м/ч: 10 20 30 40	 5(6) 5(7) 6(9) 7(11)	 - - - 13

60	**9(14)**	**14**
1	**2**	**3**
Взрыхляющая промывка катионита: Интенсивность, л/(м²õс) Продолжительность, мин	**4(3) 30 (15)**	**4(3) 30(15)**
Удельный расход поваренной соли на регенерацию сульфоугля, г/г-экв, при двухступенчатом натрий-катионировании и жесткости обрабатываемой воды, мг-экв/л: До 5 До 10 до 15 до 20	**100-120 120-200 170-250 200-300**	**300-400**
Концентрация регенерационного раствора,%	**5 – 8**	**8 – 12**
Скорость пропуска регенерационного раствора , м/ч	**3 – 4**	**3 – 5**
Отмывка катионита от продуктов регенерации: Скорость пропуска отмывочной воды через катионит, м/ч Удельный расход отмывочной воды, м³/м³, При загрузке фильтра: Сульфоуглем Катионитом КУ-2	**6 – 8 4 6**	**6 – 8 6 8**

Рабочая обменная способность катионита при натрий-катионировании определяется из уравнения:

$$E^{Na}_{р} = \sim_{э}\ {}^{Na}E_{п} - 0.5\ q\ Ж_{о}, \quad [г\text{-}экв/л] \qquad (6)$$

где $\sim_{э}$ - коэффициент эффективности регенерации, учитывающий неполноту регенерации катионита в зависимости от удельного расхода соли на регенерацию, принимается по данным ВОДГЕО (таблица 3);

$_{Na}$ - коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита по Ca^{2+} и Mg^{2+} за счет частичного задержания катионов Na^{+} ; принимается по таблице 4 (данные ВОДГЕО), где значения $_{Na}$ приведены в зависимости от отношения $C^2_{Na}/Ж_о$; C_{Na} –концентрация натрия в умягчаемой воде, мг-экв/л; $Е_п$ - полная обменная способность катионита, г-экв/м^3 по заводским данным:

	Крупность зерен, мм	Еп
Сульфоуголь	**0.3-0.8**	**550**
Сульфоуголь	**0.5-1.1**	**500**
Катионит КУ-2	**0.8-1.2**	**1700**

q – удельный расход воды на отмывку катионита, м^3 /м^3 , принимается по таблице 2; 0.5 – доля умягчения отмывочной воды.

При отсутствии ионов натрия в исходной воде рабочая обменная способность катионита при умягчении воды определяется по упрощенной формуле:

$$E^{Na}_р = \sim_э E_п - 0.5\, q\, Ж_о, \quad [г\text{-}экв/л] \qquad (7)$$

Концентрация ионов натрия в мг-экв/л определяется по содержанию ионов в исходной воде (мг/л):

$$C^2_{Na} = C^2_{Na} / 23, \quad [мг\text{-}экв/л] \qquad (8)$$

Таблица 3

Коэффициент эффективности регенерации катионита

Удельный расход соли на регенерацию катионита, г/г-экв обменной способности (табл.2)	**$\sim_э$**	**Удельный расход соли на регенерацию катионита, г/г-экв обменной способности (табл.2)**	**$\sim_э$**
100	**0.62**	**230**	**0.84**
110	**0.64**	**240**	**0.85**
120	**0.67**	**250**	**0.87**
130	**0.69**	**260**	**0.87**

140	**0.72**	**270**	**0.88**
150	**0.74**	**280**	**0.89**
160	**0.75**	**290**	**0.90**
170	**0.77**	**300**	**0.91**
180	**0.78**	**310**	**0.92**
190	**0.80**	**320**	**0.92**
200	**0.81**	**330**	**0.92**

Таблица 4

Коэффициент снижения обменной способности катионита

$C^2_{Na}/Ж_o$	**0.01**	**0.02**	**0.03**	**0.04**	**0.05**	**0.06**	**0.07**	**0.08**
Na	**0.93**	**0.92**	**0.91**	**0.89**	**0.88**	**0.87**	**0.86**	**0.85**
$C^2_{Na}/Ж_o$	**0.09**	**0.1**	**0.2**	**0.3**	**0.4**	**0.5**	**0.6**	**0.7**
Na	**0.84**	**0.83**	**0.8**	**0.77**	**0.73**	**0.7**	**0.69**	**0.68**
$C^2_{Na}/Ж_o$	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Na	**0.65**	**0.62**	**0.60**	**0.57**	**0.54**	**0.53**	**0.52**	**0.52**

Потребность в подготовительной воде рассчитывают по формуле:

$$G_p = n_k D_{max} (1.2 \sim_{о.в.} + P/100), \quad [т/ч] \qquad (9)$$

где n_k - количество действующих в котельной котлоагрегатов (4,5,6);

D_{max} - максимальная производительность котла (10 т/ч);

1.2 - коэффициент запаса

Регенерация истощенного катионита (сульфоугля или полистирольного синтетического катионита марки КУ-2) практически

осуществляется один раз в сутки в дневную смену. При этом межрегенерационный период принимается равным **Z = 24** часам.

Необходимый объем катионита вычисляется по формуле:

$$V = G_p Z Ж_o / E^{Na}_p, \quad [\ м^3\ ] \qquad (10)$$

Площадь фильтрования одного фильтра:

$$F = V/n_ф h, \quad [\ м^2\ ] \qquad (11)$$

где $n_ф$ - число действующих фильтров первой ступени;

h - высота загрузки фильтра катионита, м.

Для выбора натрий-катионитового фильтра рассчитываем его диаметр:

$$D_ф = Ё\ 4F/®, \quad [\ м\ ] \qquad (12)$$

По таблице 5 выбирается марка фильтра с диаметром, ближайшим к расчетному, выпускаемого промышленностью.

Таблица 5

Наименование	**Условное обозначение фильтра**				
	Первой ступени			**Второй ступени**	
	ФИПа 1 -0.7-0.6-Na	**ФИПа 1 -1.0-0.6-Na**	**ФИПа 1 1.5-0.6-Na**	**ФИПаff - 1.0-0.6**	**ФИПа ff - 1.5-0.6**
Диаметр фильтра $D_ф$, м	**0.7**	**1.0**	**1.5**	**1.0**	**1.5**
Площадь фильтрования F, $м^2$	**0.38**	**0.8**	**1.77**	**0.8**	**1.78**
Высота слоя катионита h, м	**2**	**2**	**2**	**1.5**	**1.5**
Объем катионита V, $м^3$	**0.77**	**1.6**	**3.54**	**1.2**	**2.66**

После выбора фильтра необходимо по его сечению:

$$F = ®D^2_ф / 4 , [м] \quad (13)$$

Проверить минимальную скорость фильтрования по формуле:

$$W_{min} = G/(n_ф F), [м/час] \quad (14),$$

которая не должна быть менее 5 м /час.

Затем осуществляется провепка на максимальную скорость фильтрования, которая не должна превышать значения, указанные в таблице 2. Здесь (nф – 1) – число фильтров, оставшихся в работе после отключения одного из них на регенерацию.

Фактический межрегенерационный период определяется после окончательного выбора фильтров первой ступени :

$$Z = F h n_ф E_р^{Na} / G Ж_о , [час] \quad (15)$$

Число регенераций в сутки одного фильтра:

$$n_р = 24 / z + (1.5\text{-}2) \quad (16)$$

где 1.5-2 - продолжительность операций регенерации в фильтрах в часах. Суточное число регенераций всех фильтров:

$$n_р^{ġ} = n_ф n_р \quad (17)$$

fff**. Поверочный расчет натрий-катионитовых фильтров второй ступени**

Скорость фильтрования во второй ступени:

$$W_ф^{вт} = G / F_{вт} n_{вт} , [м/час] \quad (18)$$

где $F_{вт}$ и $n_{вт}$ - сечение фильтрования одного фильтра второй ступени и число фильтров второй ступени соответственно.

Определяем регенерационный период в часах:

$$Z = F_{вт} h n_{вт} E_р^{Na} /0.1 G , [час] \quad (19)$$

где 0.1 – общая жесткость воды после фильтров первой ступени.

Продолжительность межрегенерационного периода в сутках составит:

$$n_{сут.} = Z_{вт} / 24 , \quad [сут.] \quad (20)$$

Во время осуществления операций регенерации фильтров второй ступени в работе остаются только фильтры первой ступени натрий-катионирования.

fV. Расчет расхода реагента на регенерацию фильтров и подбор фильтра и мерника для раствора реагента.

а) Расход реагента (поваренной соли) на регенерацию одного натрий-катионитового фильтра первой ступени :

$$g^{fст.} = E_p^{Na} h F d / 1000 , \quad [кг] \quad (21)$$

где d – удельный расход поваренной соли, принимается по таблице 2.

Расход за сутки поваренной соли:

$$Q^{fст.} = g^{fст.} n_p^p , \quad [кг] \quad (22)$$

б) Расход реагента (NaCl) на одну регенерацию фильтра второй ступени:

$$g^{ffст.} = E_p^{Na} h F_{вт} d_{вт} / 1000, \quad [кг] \quad (23)$$

где $d_{вт}$ – удельный расход NaCl для второф ступени, принимается по таблице 2.

Расход за сутки поваренной соли:

$$Q^{ffст} = g^{ffст} / n_{сут} , \quad [кг] \quad (24)$$

в) Подбор фильтра и мерника для раствора поваренной соли.

Необходимый объем раствора соли:

$$V_{NaCl} = Q\ 100 / 1000\ c\ ^\circ , \quad [м^3] \quad (25)$$

где $Q = Q^{fст.} + Q^{ffст}$ - максимальный расход соли, необходимый на одну регенерацию, кг;

С - концентрация NaCl в растворе обычно принимается 10% или 25 [кг соли/кг раствора] %;

° - принимается равным 1.4 кг/м^3.

Объем мерника раствора соли:

$$V_м = 1.25\ V_{NaCl} \qquad (26)$$

Скорость фильтрации принимается 20 м/час. По таблице 6 подбираем типоразмер солерастворителя.

Таблица 6

Наименование	**Условное обозначение солерастворителей**		
	В – 7075С	**К – 188810С**	**К – 181899А**
Диаметр, мм	**450**	**600**	**1000**
Полезный объем для соли, м^3	**0.10**	**0.20**	**0.50**

Литература

1. Роддатис К.Ф., Полтарецкий А.Н. Справочник по котельным установкам малой производительности. М., Энергоатомиздат,1989, 487с.
2. Лифщиц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. М., “Энергия”, 1976, 287с.
3. Белан Ф.И., Сутоцкий Г.П. Водоподготовка промышленных котельных. М., “Энергия”, 1979, 325с.
4. Алейников Г.И., Мадлевский К.Д. и др. Водоподготовительное оборудование. Каталог-справочник. М., НИИинформтяжмаш, 1974, 189с.

Х И М И Я

Методические указания к выполнению расчетно-графической работы по расчету основного оборудования стадии умягчения воды для котельных установок для студентов факультета инженерных систем и экологии специальности 270109 дневной и заочной формы обучения

Составители Лаптева Людмила Ивановна

Редактор В.В.Попова

Редакционно-издательский отдел

Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Лицензия ЛР № 020379 от …04.03

Подписано в печать Формат 60х84/16

Заказ Тираж 150 экз. Усл.печ.л. 1,2

Бумага тип № 2 Печать офсетная Уч.-изд.л. 1,2

Печатно-множительный отдел КГАСУ

Лицензия № 03/380 от 16.10.95 г.

420043, Казань, Зеленая 1

Приложение 1

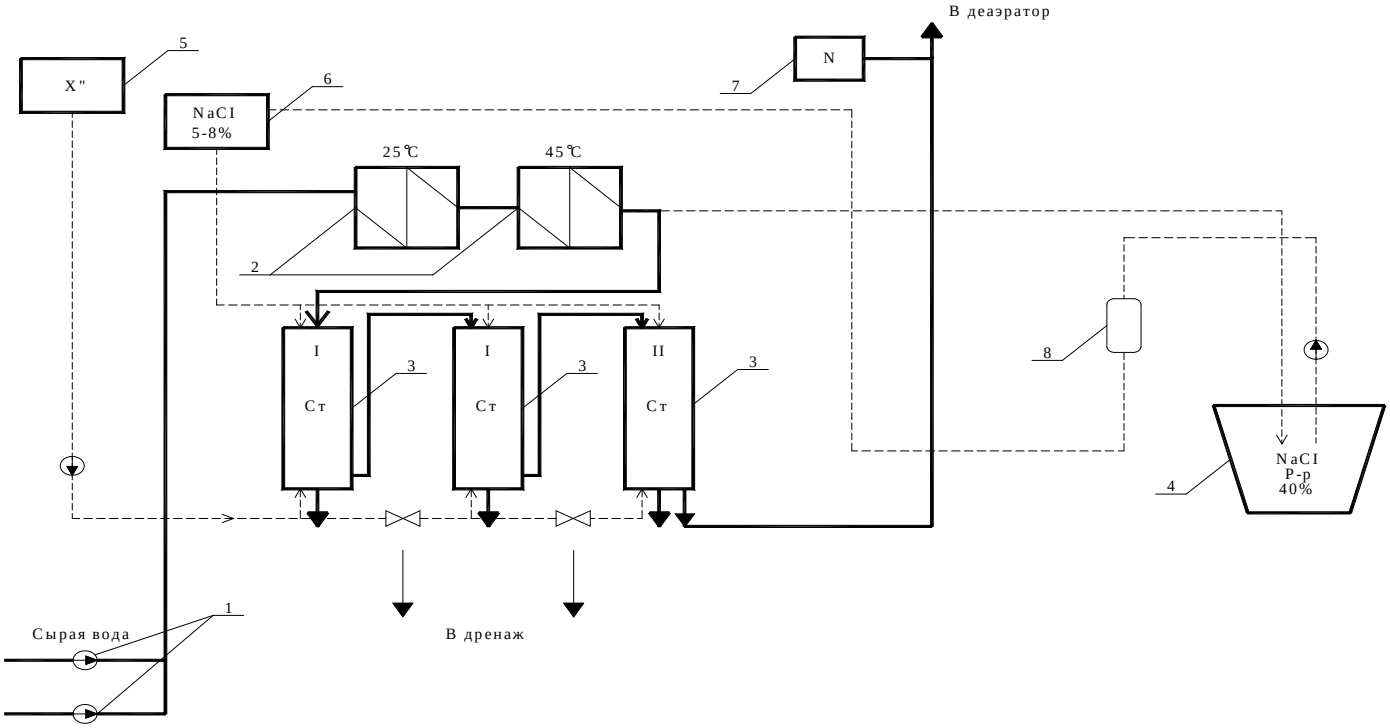
Состав природных вод России

№ п/п	Река, водоём	Место отбора пробы воды	Дата отбора пробы	Взвешенные вещества, мг/л	Сухой остаток, мг/л	Щёлочность, мг-экв/л	Жёсткость		Содержание катионов и анионов в воде, мг/л		
							Карбо-натная	Общая	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}
1.	Амур	Хабаровск	март	16	93	0,5	0,5	0,5	6	2,4	1,6
2.	Амур	Хабаровск	октябрь	36	66	0,7	0,7	0,9	13,4,	2,5	9,2
3.	Ангара	Гаурлак	декабрь	--	528	2,4	2,4	4,7	66,7	16,7	32,2
4.	Ангара	Ангарск	апрель	2	100	1,2	1,1	1,1	17,2	2,9	11
5.	Ангара	Ангарск	май	2	117	1,1	1,1	1,2	16,5	4,3	31
6.	Ангара	с.Неван	март	88	98	1,3	1,3	1,45	20	5,5	5,3
7.	Ангара	с.Неван	июль	96	99	1,5	1,5	1,5	21,8	5,2	9,2
8.	Белая	Усолье-Сибирское	февраль	7	169	1,5	1,5	2,3	29,4	10,1	13,8
9.	Белая	Усолье-Сибирское	май	29	159	1,9	1,9	2,1	22,8	11,9	2,6
10.	Белая	Уфа	февраль	--	800	5,8	5,8	12,4	232,4	9,72	9,2
11.	Волга	Балахна	январь	--	153	1,7	1,7	2,1	28	8,2	4,5
12.	Волга	Балахна	май	--	125	1	1	1,3	17,2	4,9	3,6
13.	Волга	Казань	апрель	520	189	1,3	1,3	1,7	24	6,1	32
14.	Волга	Казань	июль	10	360	2,3	2,3	4,8	72	14,5	20,5
15.	Волга	Калинин	февраль	3	274	3,3	3,3	3,3	48	10,9	25
16.	Волга	Калинин	апрель	44	92	0,7	0,7	0,9	14,4	2,4	7,6
17.	Волга	Самара	февраль	--	308	2,35	2,35	4,13	65,93	10,21	21,5
18.	Волга	Самара	март	--	372	2,45	2,45	4,09	63,22	11,3	31,5
19.	Волга	Ярославль	март	13	168	1,9	1,9	2,5	34,4	9,1	4,4
20.	Волга	Ярославль	май	25	162	1,8	1,8	2,4	33,9	8,7	7

21.	Волга	Кстово	март	5	301	3	3	4	59,6	12,4	22,2
22.	Волга	Кстово	май	28	258	1,5	1,5	2	26,5	8,2	13,1
23.	Волга	Рыбинск	апрель	--	272	1,7	1,7	2,6	41,5	5,2	6
24.	Вологда	Вологда	март	8	708	7,1	7.1	8,1	91,2	43,2	69
25.	Вятка	Кирово-Чепетск	февраль	--	233	3,8	3,1	3,1	41	12,7	27,8
26.	Вятка	Кирово-Чепетск	апрель	168	105	0,9	0,9	0,9	14	3	12
27.	Днепр	Дорогобуж	февраль	--	261	4,5	4,5	4,7	70	14,6	9,1
28.	Днепр	Дорогобуж	апрель	--	63	0,6	0,6	0,7	11,1	2,4	2
29.	Днепр	Днепропетровск	март	--	410	3,9	3,9	4,2	60,12	14,59	61,64
30.	Дон	Ростов	январь	2,8	992	3,8	3,8	8,6	110,62	33,32	146
31.	Дон	Ростов	апрель	2,8	742	2,6	2,6	6,38	94,19	19,43	92,2
32.	Енисей	Красноярск	апрель	9	117	1	1	1,1	16,1	3	9,5
33.	Енисей	Красноярск	январь	3	154	2,3	2,3	2,6	37,0	9,1	6,9
34.	Зуша	Мценск	март	262	460	6	6	7,5	104	27,97	39,1
35.	Зырянка	Березинки	апрель	--	384	4	4	5,36	70,74	22,25	21,85
36.	Ик	Уруссу	январь	7	832	5,2	5,2	1	136	50,4	25,3
37.	Ик	Уруссу	апрель	122	372	3	3	4,5	74	9,2	30
38.	Иртыш	Омск	апрель	--	341	2,3	2,3	2,4	30,2	10,8	39
39.	Иртыш	Омск	август	172	344	2,7	2,7	2,8	28,1	17	36,1
40.	Клязьма	Владимир	май	--	221	-	1,3	1,3	26,3	4,1	23
41.	Ломпадь	Людиновов	апрель	--	232	-	3	4	64	9,7	9,2
42.	Миасс	Челябинск	апрель	--	263	-	1,7	2,2	28	10,2	29,2
43.	Москва	Москва	январь	--	178	-	2,2	2,8	40	9,8	-
44.	Москва	Москва	июнь	--	144	-	1,5	2,2	28,2	9,6	-
45.	Обь	Новосибирск	ноябрь	--	147	-	2,1	2,3	30,2	9,3	9,2
46.	Обь	Новосибирск	апрель	--	206	-	1,2	3,2	49,2	9,4	6,9
47.	Плисса	Жодино	март	--	109	-	0,9	1,3	20	3,6	1,6
48.	Плисса	Жодино	декабрь	--	204	-	3	3,3	46	12	0,6
49.	Томь	Кемерово	март	--	140	-	1,9	2,3	29,7	9,9	12,4

50.	Томь	Кемерово	апрель	--	151	-	1	1,6	23,4	5,2	12,4
51.	Томь	Новокузнецк	март	--	136	-	2,3	2,4	32,9	8,3	1,2
52.	Томь	Новокузнецк	июнь	--	56	-	0,6	0,7	10	1,7	0,8
53.	Тура	Нижняя Тура	февраль	--	118	-	1,4	1,8	24	6,9	5,2
54.	Урал	Гурьев	октябрь	--	280	-	2	2,7	48	3,6	48,3
55.	Шексна	Череповец	июнь	--	110	-	1,2	1,2	17,4	3,4	5,8
56.	Водохранилище	Кривой Рог	март	--	274	-	2,7	3,3	46,1	12,2	18,2
57.	Ока	Нижний Новгород	апрель	--	151	-	1	1,6	19,3	2,2	6,9

Принципиальная схема умягчения воды



1. Насосы
2. Теплообменники
3. Фильтры 1 и 2 ступени
4. Бункер мокрого хранения соли
5. Бак взрыхления
6. Бак регенерации
7. Бак с нитратами
8. Солерастворитель

Рис.1