МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра водоснабжения и водоотведения

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВОК ВОДОПОДГОТОВКИ

Часть I

Умягчение воды

Методические указания к практическим занятиям,
по выполнению курсового проекта и ВКР
для студентов направления подготовки
08.03.01 «Строительство»
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Казань
2015

УДК 628.164
ББК 38.761.1
Н90

Н90 Расчет и проектирование установок водоподготовки. Ч. I. Умягчение воды: Методические указания к практическим занятиям, выполнению курсового проекта и ВКР для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение»/ Сост: Ж.С. Нуруллин, И.Г. Шешегова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2015. – 34 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методических указаниях даны основные рекомендации по проектированию и расчету сооружений умягчения воды на хозяйственно-питьевые и производственные цели.

Методические указания предназначены для практических занятий, а также для выполнения курсового проекта и ВКР для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение».

Методические указания составлены в соответствии с программами дисциплин «Водоснабжение», «Водоснабжение промышленных предприятий» и «Водоподготовка».

Рецензент
Кандидат химических наук, доцент кафедры химии
и инженерной экологии в строительства КГАСУ
Е.Н. Сундукова

УДК 628.164
БКК 38.761.1

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2015

© Нуруллин Ж.С.
Шешегова И.Г., 2015

Введение

В методических указаниях даны основные рекомендации по проектированию и расчету сооружений умягчения воды для хозяйственно-питьевых и производственных целей.

В данных методических указаниях рассмотрены методы реагентного и катионитного умягчения, приведены технологические схемы и условия их применения, методики расчета и проектирования установок умягчения. Методические указания составлены в соответствии с методиками проектирования и расчета установок умягчения, приведенными в [1; 2].

Методические указания составлены в соответствии с программами дисциплин «Водоснабжение», «Водоснабжение промышленных предприятий» и «Водоподготовка» и предназначены для практических занятий, а также для выполнения курсового проекта и ВКР для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение».

1. Методы умягчения воды и условия их применения

Умягчение воды – это процесс снижения содержания катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} обуславливающих ее жесткость. Различается жесткость общая ($Ж_0$), карбонатная ($Ж_К$), некарбонатная ($Ж_Н$), постоянная и временная.

Для умягчения воды наиболее часто применяются следующие методы: термический, реагентный и катионитовый. Первые два метода основаны на осаждении *Ca* и *Mg* в виде нерастворимых соединений, образующихся в результате нагрева воды или ее обработки реагентами. Катионитовый метод основан на обмене ионов Ca^{2+}и Mg^{2+} на ионы Na^{+} или H^{+} при фильтровании воды через специальные материалы естественного или искусственного происхождения.

Выбор метода умягчения зависит от качества исходной воды и требуемой глубины умягчения (табл. 1).

Для умягчения вод, не требующих очистки, применяются катионитные методы, для умягчения вод требующих одновременного осветления – реагентные методы, а при необходимости очистки и глубокого умягчения – реагентные методы с последующим катионированием.

Для снижения $Ж_К$ могут применяться метод известкованием или *H*-катионирования с «голодной» регенерацией катионита. Для снижения карбонатной и некарбонатной жесткости применяются реагентный известково-содовый метод или *Na* и *H-Na* – катионитные методы умягчения.

Таблица 1

Краткая характеристика различных способов умягчения воды и условия их применения

Способы умягчения воды	Характер процесса умягчения	Назначение способа	Условия применения способа умягчения воды			
			мутность исходной воды, мг/л	общая жесткость исходной воды, мг-экв/л	предел возможного снижения жесткости, мг-экв/л	температура исходной воды, °С
1	2	3	4	5	6	7
Термический	Вода нагревается выше 100°С, что устраняет карбонатную и некарбонатную жесткости (в виде карбоната кальция, гидроксида магния и гипса)	Умягчение воды, содержащей преимущественно карбонатную жесткость, для питания котлов низкого и среднего давления	до 50	Карбонатная жесткость с преобладанием $Ca(HCO_3)_2$, некарбонатная жесткость в виде гипса	Карбонаная жесткость до 0,035 $CaSO_4$ до 0,7	до 270
Реагентный	В воду вводятся реагенты, которые связывают ионы кальция и магния в малорастворимые соединения	Неглубокое умягчение при одновременном осветлении воды от взвешенных веществ	до 500	5–30	до 0,7	до 90°

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Катионитовый *Na-катионирование одноступенчатое*	Умягчаемая вода пропускается через Na-катионитовые фильтры	Глубокое умягчение воды с незначительным содержанием взвеси	не более 8	до 15	0,05-0,1	до 30° (глауконит), до 60° (сульфоуголь)
Na-катионирование двухступенчатое	Умягчаемая вода пропускается через Na-катионитовые фильтры I ступени, где жесткость снижается на 70–75%, затем через Na-катионитовые фильтры II ступени		не более 8	до 15	0,01	
H-Na-катионирование	Умягчаемая вода пропускается через H- и Na-катионитовые фильтры, а затем оба потока смешиваются	Глубокое умягчение и снижение щелочности воды с незначительным содержанием взвешенных веществ	не более 8	до 15	табл. 7	

При невысоких требованиях к жесткости умягченной воды по сравнению с глубиной умягчения применяемого метода, применяется метод частичного умягчения – умягчение части воды с последующим ее смешением с исходной водой. Количество воды подлежащей умягчению:

$$q_у = \frac{100(Ж_{о.исх} - Ж_{о.с.})}{Ж_{о.исх} - Ж_у}, \ \% \qquad (1)$$

где $Ж_{о.исх}$ – общая жесткость исходной воды, мг-экв/л;
$Ж_{о.с.}$ – общая жесткость воды, подаваемой в сеть, мг-экв/л;
$Ж_у$ – жесткость умягченной воды, мг-экв/л.

2. Реагентный метод

Для поверхностных вод требующих очистки и умягченной, может применяться один из реагентных методов – известковый, известково-содовый, едконатриевый, фосфатный, бариевый и др. Из приведенных методов наиболее часто применяются известковый и известково-содовый методы.

При известковании снижается карбонатная жесткость, при этом остаточная жесткость может быть получена на 0,4–0,8 мг-экв/л больше $Ж_Н$, а щелочность – 0,8–1,2 мг-экв/л; при известково-содовом умягчении – остаточная жесткость – 0,5–1 мг-экв/л, а щелочность 0,8–1,2 мг-экв/л. Нижние пределы могут быть получены при подогреве воды до 35–40°С.

2.1. Определение доз реагентов

Доза извести при декарбонизации:

а) при $\frac{Ca^{2+}}{20} > Ж_К$: $$Д_и = 28\left[\frac{(CO_2)_{св}}{22} + Ж_К \pm \frac{Д_К}{e_К} + 0.3\right]; \qquad (2)$$

б) при $\frac{Ca^{2+}}{20} < Ж_К$: $$Д_и = 28\left[\frac{(CO_2)_{св}}{22} + 2Ж_К - \frac{(Ca^{2+})}{20} \pm \frac{Д_К}{e_К} + 0.5\right] \qquad (3)$$

Доза извести при известково-содовом умягчении:

$$Д_и = 28\left[\frac{(CO_2)_{св}}{22} + Ж_К + \frac{Mg^{2+}}{12} \pm \frac{Д_К}{e_К} + 0.5\right] \qquad (4)$$

Доза соды:

$$Д_с = 53\left[Ж_Н \pm \frac{Д_К}{e_К} + 1\right], \qquad (5)$$

где $(CO_2)_{св}$ – концентрация в воде свободной двуокиси углерода, мг/л;

(Ca^{2+}) – содержание в воде кальция, мг/л;

$Д_к$ – доза коагулянта, мг/л;

e_K – эквивалентная масса активного вещества коагулянта, мг/мг-экв ($FeCl_3$ – 54, $FeSO_4$ – 67).

При одновременном обесцвечивании, осветлении и реагентном умягчении в качестве коагулянта применяют только соли железа – хлорное железо ($FeCl_3$) или железный купорос ($FeSO_4$).

Член $Д_к/e_K$ принимается со знаком «минус», если коагулянт вводится в воду раньше извести, знак «плюс», если коагулянт вводится вместе с известью или после нее.

$Д_K$ надлежит принимать 25–35 мг/л с последующим уточнением в процессе эксплуатации. При отсутствии экспериментальных данных ориентировочный расчет $Д_K$ производится по формуле:

$$Д_K = 3\sqrt[3]{C}, \text{ мг/л}, \qquad (6)$$

где C – количество взвеси, образующейся при умягчении воды в расчете на сухое вещество. Эта величина определяется:

а) при декарбонизации

$$C = M_{исх} + 50\left[\frac{(CO_2)}{22} + 2Ж_K\right] + 29\frac{(Mg^{2+})}{12} + Д_u\left(\frac{100-m}{100}\right); \qquad (7)$$

б) при известково-содовом умягчении

$$C = M_{исх} + 50\left[Ж_O + Ж_K + \frac{(CO_2)}{22} + 0.5\right] + 29\frac{(Mg^{2+})}{12} + Д_u\left(\frac{100-m}{100}\right), \qquad (8)$$

где $M_{исх}$ – содержание взвешенных веществ в исходной воде, мг/л;

m – содержание CaO в товарной извести, %.

После определения C определяется $Д_K$ по формуле (6) – эта расчетная доза должна быть меньше принятой.

2.2. Технологические схемы и установки

В составе установок реагентной декарбонизации воды и известково-содового умягчения следует предусматривать: реагентное хозяйство, смесители, вихревые реакторы, осветлители со слоем взвешенного осадка, фильтры и устройства для стабилизационной обработки воды (при повышенном pH воды).

Оптимальным сооружением умягчения известкованием или известково-содовым медотами является вихревой реактор. Вихревые реакторы могут быть напорными и безнапорными.

При условии C=8–12 мг/л, Mg^{2+}<15мг/л следует применять технологическую схему, представленную на рис. 1, а при C=8–12 мг/л, Mg^{2+} >15мг/л – на рис. 2. Данные схемы могут применяться для умягчения подземных или поверхностных вод после предварительного осветления.

При умягчении с осветлением вместо вихревого реактора в технологической схеме (рис. 2) применяют вихревые смесители.

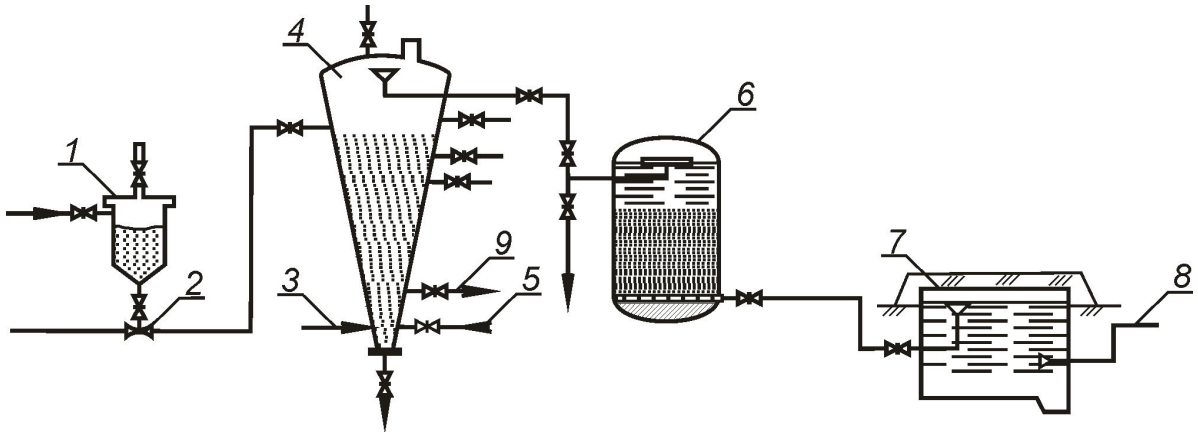


Рис. 1. Водоумягчительная установка с вихревым реактором:
1 – бункер с контактной массой; 2 – эжектор; 3 – подача исходной воды; 4 – вихревой реактор; 5 – ввод реагентов; 6 – напорный осветлительный фильтр; 7 – резервуар умягченной воды; 8 – отвод умягченной воды; 9 – сброс контактной массы

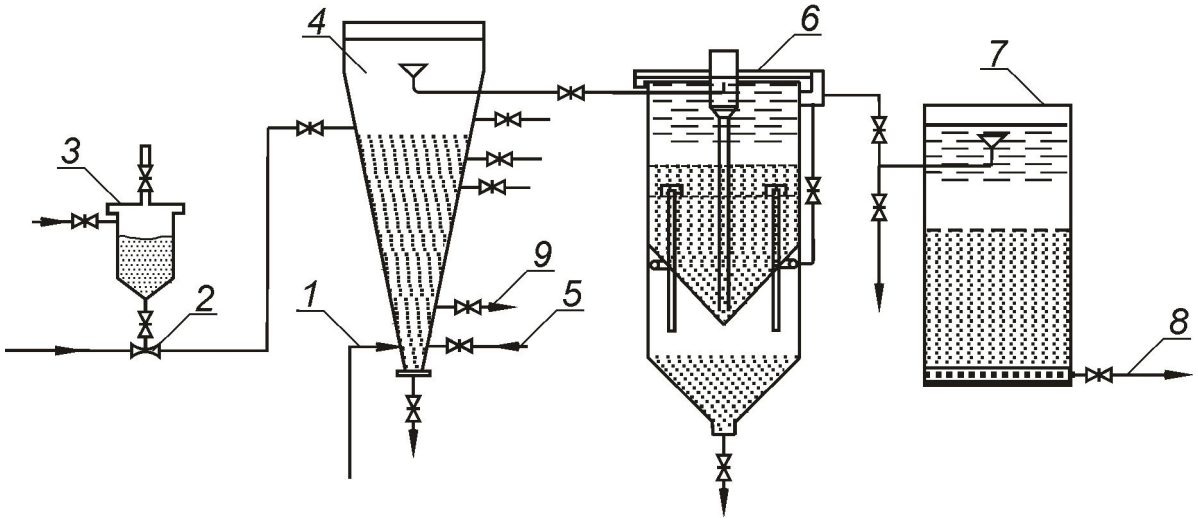


Рис. 2. Установка известково-содового умягчения:
1 – подача исходной воды; 2 – эжектор; 3 – бункер с контактной массой; 4 – вихревой реактор; 5 – ввод реагентов; 6 – осветлитель со слоем взвешенного осадка; 7 – осветлительный скорый фильтр; 8 – отвод умягченной воды; 9 – сброс контактной массы

При декарбонизации и известково-содовом умягчении воды известь надлежит применять в виде известкового молока. При суточном расходе извести менее 0,25 т (в расчете на *CaO*) известь допускается вводить в умягчаемую воду в виде насыщенного известкового раствора, получаемого в сатураторах, на крупных очистных станциях – механизированные установки, включающие бункер для приготовления извести, дробилку, известегасительное устройство. Баки для известкового молока с мешалками. Соду используют только в растворенном состоянии. Расчет установок для приготовления и дозирования растворов реагентов производится по ранее изученным методикам.

Смесители следует принимать только вихревые, расчет производится согласно рекомендациям [3].

Осветлитель конструкции ВНИИ ВОДГЕО (рис. 3) с поддонным осадкоуплотнителем и подводом воды вертикальными трубами характеризуется небольшой производительностью (до 50 м^3/ч) и рекомендуется к применению при $Q_{OC} \leq 5000$ м^3/сут., при большей производительности целесообразно применять осветлитель аналогичного типа, но с желобчатым дном. К этому типу относится осветлитель с поддонным осадкоуплотнителем системы Васильченко (рис. 4), производительность одного осветлителя ~ 100 м^3/ч. При производительности станции 10000–50000 м^3/сут. рекомендуется применять осветлитель коридорного типа [1].

Расчет осветлителей со взвешенным осадком проводится по аналогии с расчетом осветлителей для очистки коагулированных мутных вод [3] с учетом рекомендаций табл. 2.

Таблица 2

Технологические пераметры осветлителя со взвешенным осадком

Показатель	Значение
Восходящая скорость движения воды в зоне осветления, мм/с	
при магниевой жесткости менее 25%	1.0
при магниевой жесткости более 25%	0.8
Средняя концентрация взвешенных веществ в осадкоуплотнителе, мг/л:	
при магниевой жесткости менее 25%	40000
при 75% общей жесткости	20000
Продолжительность уплотнения осадка, ч	
при магниевой жесткости менее 25%	3–4
при 75% общей жесткости	5–6
Скорость движения воды в опускных трубах для распределения воды, м/с	0.7

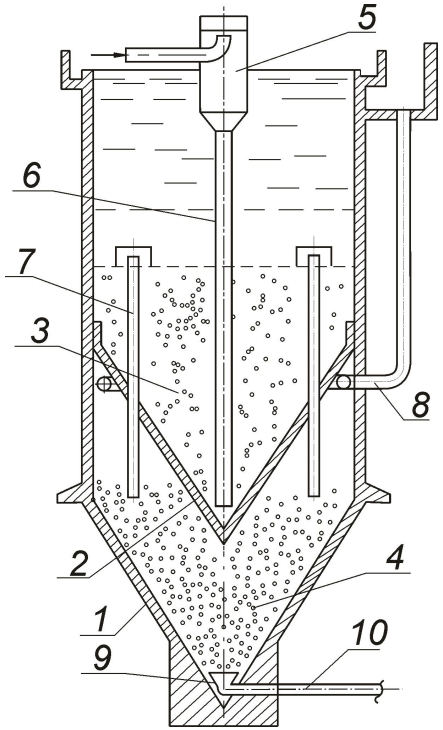


Рис. 3. Осветлитель конструкции ВНИИ ВОДГЕО с поддонным осадкоуплотнителем и подводом воды вертикальными трубами:
1 – коническое дно; 2 – верхнее коническое днище; 3 – рабочее пространство осветлителя; 4 – осадкоуплотнитель; 5 – воздухоотделитель; 6 – вертикальная опускная труба; 7 – осадкоотводящая труба; 8 – кольцевая дырчатая труба; 9 – воронка с коленом; 10 – сбросная труба

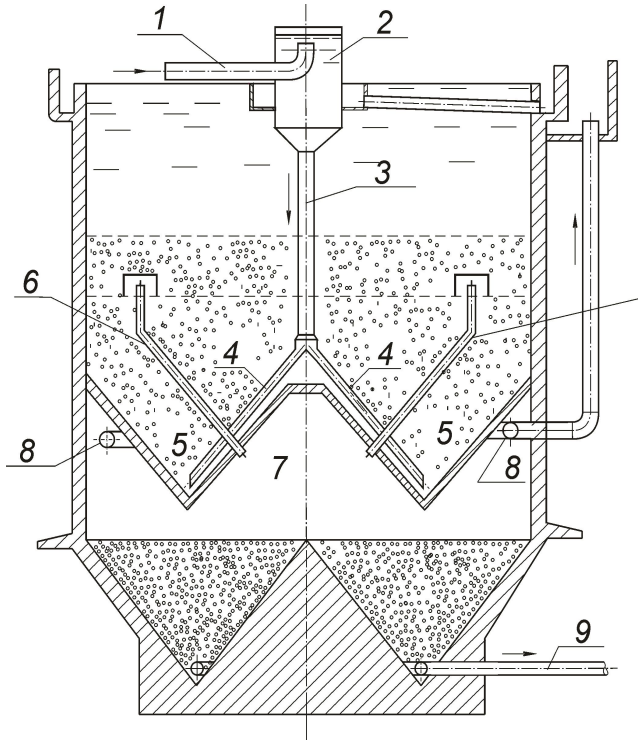
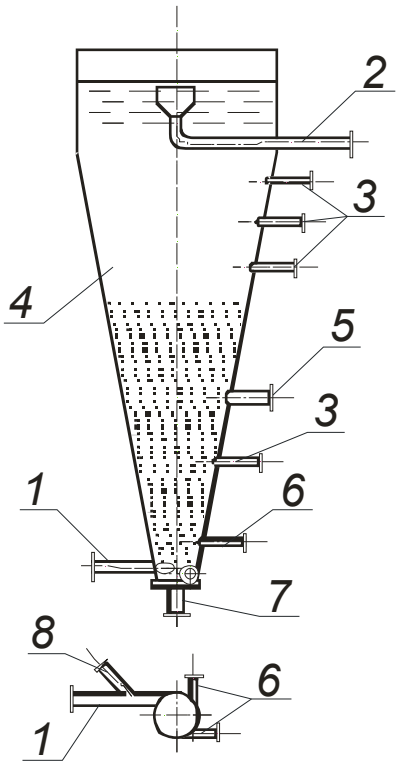


Рис. 4. Осветлитель с поддонным осадкоуплотнителем и подводом воды наклонными трубами:

1 – трубопровод подачи воды; 2 – воздухоотделитель; 3 – вертикальная труба; 4 – наклонные опускные трубы; 5 – верхнее днище; 6 – осадкоотводящая труба; 7 – поддонный осадкоуплотнитель; 8 – кольцевой дырчатый трубопровод; 9 – трубопровод отвода осадка

При расчете вихревого реактора (рис. 5) определяют геометрические размеры реактора: диаметр верхней и нижней части, высоту усеченного конуса и объем; параметры контактной массы: вес, высоту загрузки и потери напора. Технологические параметры вихревого реактора для его расчета приведены в табл. 3.



1 – подача воды;
2 – отвод воды;
3 – штуцера для отбора проб;
4 – загрузка;
5 – выпуск излишка загрузки;
6 – ввод извести;
7 – сброс;
8 – промывная вода от напорной линии

Рис. 5. Вихревой реактор

Таблица 3

Технологические параметры вихревого реактора

Показатель		Значение
Скорость входа воды в реактор, м/с		0,8–1,0
Угол конусности, град.		15–20
Скорость восходящего движения воды на уровне водоотводящих устройств, мм/с		4–6
Контактная масса:	материал	молотый известняк, размолотая крупка карбоната кальция, мраморная крошка
	диаметр зерен, мм	0,2 – 0,3
	плотность заполнения кг на 1м^3 объема реактора	10

Диаметр верхнего и нижнего сечения реактора находят по соответствующим площадям поперечного сечения:

$$f = \frac{q}{N \cdot V}, \text{ м}^2, \tag{9}$$

где q – производительность станции, м^3/с;

N – количество реакторов, шт. (принимается из расчета загрузки в один реактор контактной массы в количестве 10 кг/1 м^3 объема);

V – скорость движения воды, соответственно, в верхней или нижней части реактора.

Высота усеченного конуса:

$$h = \frac{1}{2}(d_в - d_н) ctg \frac{\alpha}{2}, \text{ м}, \tag{10}$$

где $d_в$, $d_н$ – диаметры верхнего и нижнего сечения, соответственно, м;

α – угол конусности реактора.

Вес контактной массы, необходимой для загрузки одного реактора:

$$G_К = W \cdot \rho, \text{ кг}, \tag{11}$$

где W – объем реактора, м^3;

ρ – плотность заполнения реактора контактной массой, кг/м^3;

$$W = \frac{1}{3} h\left(f_в + \sqrt{f_в f_н} + f_н\right), \tag{12}$$

где $f_в$ и $f_н$ – площадь верхнего и нижнего поперечного сечения реактора, соответственно.

Расход свежей контактной массы, добавляемой в процессе обработки:

$$G_Д = 0{,}045 \frac{q \cdot Ж_о^{/}}{N}, \tag{13}$$

где $Ж_о^{/}$ – общая жесткость воды, удаляемая в реакторе, мг-экв/л

Высота загрузки контактной массы:

$$H_{к.м.} = 0.5h, \text{ м}. \tag{14}$$

Потери напора в контактной массе:

$$\Delta h_{п.к.м.} = 0.35 h_{к.м.}, \text{ м}. \tag{15}$$

В установках для декарбонизации воды или известково-содовом умягчения воды рекомендуется применять однопоточные фильтры с одно или двухслойной загрузкой. Проектирование фильтров следует проводить в соответствии с рекомендациями [3]. В качестве фильтрующей загрузки используется кварцевый песок, дробленый антрацит с крупностью зерен 0,5–1,25 мм и коэффициентом неоднородности 2–2,2. Высота слоя загрузки 0,8–1 м, скорость фильтрования – 6 м/ч. В связи с тем, что в результате умягчения вода получается нестабильной, в фильтрующем слое, особенно в его верхней части, может наблюдаться отложение карбоната кальция. Поэтому в фильтрах водоумягчительных установок наряду с обычной промывкой предусматривают устройства для верхней промывки зернистой загрузки.

3. Катионитный метод

Умягчение катионированием – фильтрование воды через фильтрующий материал (катионит), обладающий способностью обменивать катионы Ca^{2+} и Mg^{2+}, обуславливающих жесткость воды на катионы Na^{+} или H^{+}.

3.1. Na-катионитный метод

Na-катионитовый способ умягчения может проводиться по схемам одноступенчатого (рис. 6) и двухступенчатого (рис. 7) катионирования.

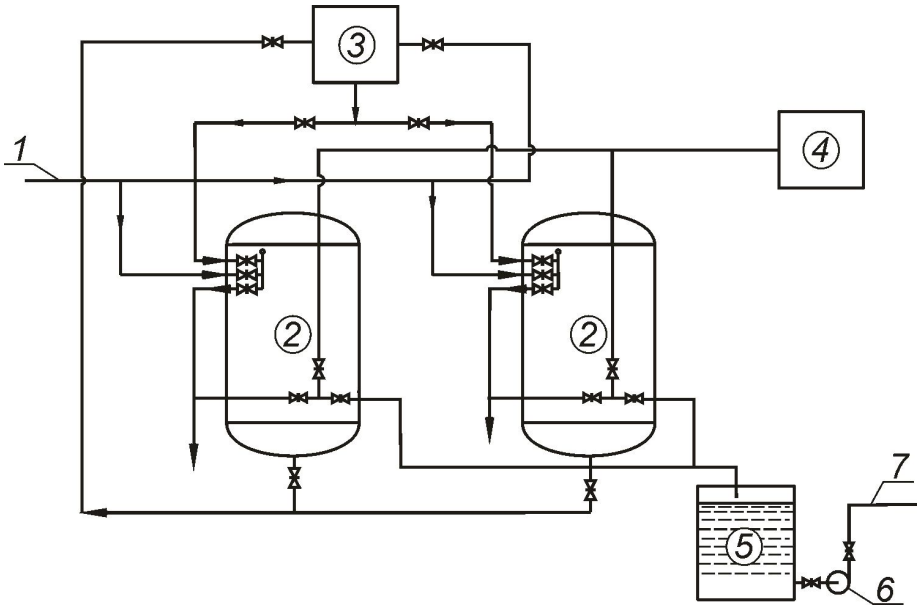


Рис. 6. Схема одноступенчатого Na-катионирования воды:

1 – подача исходной воды; 2 – Na-катионитовый фильтр; 3 – бак с раствором поваренной соли; 4 – бак с частично умягченной водой для взрыхления катионита; 5 – резервуар умягченной воды; 6 – насос; 7 – отвод умягченной воды

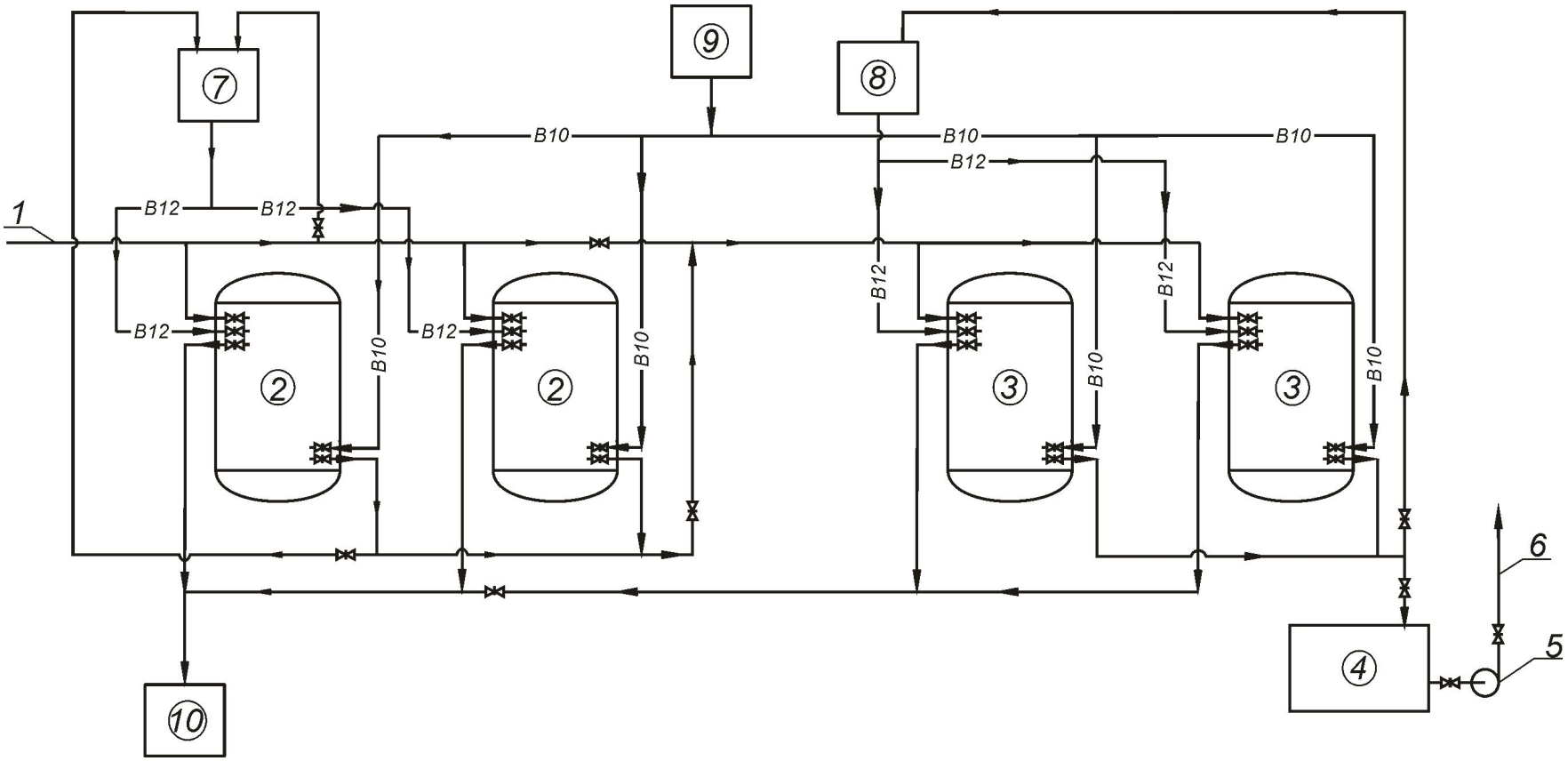


Рис. 7. Схема двухступенчатого Na-катионирования воды:

1 – подача исходной воды; 2 – Na-катионитовые фильтры I ступени; 3 – Na-катионитовые фильтры II ступени; 4 – резервуар умягченной воды; 5 – насос; 6 – отвод умягченной воды; 7 – бак с раствором поваренной соли для регенерации фильтров I ступени; 8 – бак с раствором поваренной соли для регенерации фильтров II ступени; 9 – бак с водой для взрыхления катионита; 10 – резервуар для приема промывной воды

Обозначения трубопроводов: B10 – трубопровод подачи воды для взрыхления; B11– трубопровод отвода воды после взрыхления; B12 – трубопровод подачи соли; B13 – трубопровод отвода первого фильтрата

3.1.1. Расчет Na-катионитовых фильтров I ступени

Необходимые для расчета технологические параметры приведены в табл. 4.

Таблица 4

Технологические параметры работы *Na*- и *H*-катионитовых фильтров

Показатель	Na-катионитовых фильтров		H-катионитовых фильтров
	I-ступени	II-ступени	
1	2	3	4
Высота слоя катионита, м	2-2,5	1,5	2-2,5
Крупность зерен катионита, мм	0,5–1,2	0,5–1,2	0,5–1,2
Полная обменная емкость по паспортным данным, г-экв/м^3; при их отсутствии при загрузке фильтра:			
сульфоуглем крупностью 0,5–1,1 мм	500	500	500
катионитом КУ-2 крупностью 0,8 – 1,2 мм	1500-1700	–	1500-1700
Рабочая обменная емкость, г-экв/м^3	по расчету	250-300	по расчету
Скорость фильтрования, м/ч, при нормальном режиме:			
при $Ж_o$ до 5 г-экв/л	не более 25	не более 40	не более 20
при $Ж_o$ = 5–10 г-экв/л	15		15
при $Ж_o$ = 10–15 г-экв/л	10		10
Потери напора в слое катионита высотой 2.0 (2.5) м, при скорости фильтрования, м/ч:			
5	4,0 (4,5)	13–15	4,0 (4,5)
10	5,0 (5,5)		5,0 (5,5)
15	5,5 (6,0)		5,5 (6,0)
20	6,0 (6,5)		6,0 (6,5)
25	7,0 (7,5)		7,0 (7,5)
Взрыхление катионита:			
интенсивность подачи воды, л/с·м^2, при крупности зерен катионита, мм:			
0.5–1.1	4	4	4
0.8–1.2	5	5	5
продолжительность промывки, мин	20–30	20–30	20–30
Регенерация катионита:			
удельный расход соли a_c, г-г/экв:			
при I-ступенчатой схеме	150–200	–	–
при II-ступенчатой схеме	120–150	300-400	–
расход серной кислоты $a_к$, г-г/экв:	–	–	по рис.11

Окончание табл. 4

1	2	3	4
скорость фильтрования, м/ч	3–4	3–4	не менее 10
концентрация регенерационного раствора, %	5–8	8–12	1–1.5
продолжительность обработки, мин	25–40	25–40	25–40
Отмывка катионита:			
скорость пропуска отмывочной воды, м/ч	6–8	6–8	не менее 10
удельный расход отмывочной воды, $м^3/м^2$			
при загрузке фильтра:			
сульфоуглем	4	4	4-5
катионитом КУ-2	6	6	
продолжительность отмывки, мин.	30–60	30–60	30–60

Объем катионита фильтров I ступени:

$$W_{Na} = \frac{24 \cdot q_y \cdot Ж_{о.исх}}{n_{рег} \cdot E_{раб}^{Na}}, \text{ м}^3, \qquad (16)$$

где q_y – расход умягчаемой воды, $м^3/ч$;

$Ж_{о.\ исх}$ – общая жесткость исходной воды, г-экв/л;

$E_{раб}^{Na}$ – рабочая обменная емкость катионита при Na-катионировании, г-экв/л;

$n_{рег}$ – число регенераций каждого фильтра ($n_{рег}$=1-3).

Рабочая обменная емкость катионита:

$$E_{раб}^{Na} = \alpha_{Na} \cdot \beta_{Na} \cdot E_{полн} - 0.5 q_{уд.отм} \cdot Ж_{о.исх}, \qquad (17)$$

где α_{Na} – коэффициент эффективности регенерации Na-катионита, учитывающий неполноту регенерации катионита, принимается по табл. 5 в зависимости от удельного расхода поваренной соли a_c на регенерацию;

β_{Na} – коэффициент, учитывающий снижение обменной емкости катионита по Ca^{2+} и Mg^{2+} вследствие частичного задержания катионов Na^+, принимаемый по табл. 6, в которой C_{Na} – концентрация натрия в исходной воде, г-экв/$м^3$ ($C_{Na}=Na^{2+}/23$);

$E_{полн}$ – полная обменная емкость катионита, г-экв/$м^3$;

$q_{уд.отм.}$ – удельный расход воды на отмывку катионита, $м^3/м^3$ катионита.

Таблица 5

a_c, г-г/экв	100	150	200	250	300
α_{Na}	0.62	0.74	0.81	0.86	0.9

Таблица 6

C_{Na} / $Ж_{о.исх}$	0.01	0.05	0.1	0.5	1	5	10
β_{Na}	0.93	0.88	0.83	0.7	0.65	0.54	0.5

Площадь катионитовых фильтров I ступени:

$$F_{Na} = \frac{W_{Na}}{H_к}, \text{ м}^2, \tag{18}$$

где $H_к$ – высота слоя катионита в фильтре, принимаемая 2–2.5 м (большую высоту следует принимать при $Ж_{о\ исх}$>10 г-экв/м^3).

Принимается количество фильтров, учитывая, что рабочих фильтров $n_ф$ должно быть не менее двух, резервных – один.

Диаметр фильтра:

$$D = \sqrt{4F_{Na} / (\pi \cdot n_ф)}, \text{ м}. \tag{19}$$

По полученному диаметру принимается типовой фильтр (табл. 3).

Расчетная скорость фильтрования:

$$V_{расч}^{Na} = \frac{E_{раб}^{Na} \cdot H_к}{T_м \cdot Ж_{о.исх} + 0.02E_{раб}^{Na} \cdot d_{80}^2 \left(\ln Ж_{о.исх} - \ln Ж_у\right)} < V_{рек}, \tag{20}$$

где d_{80} – 80% калибр катионитовой загрузки (обычно d_{80} = 0,8–1,2 мм);

$Ж_у$ – жесткость умягченной воды, г-экв/л;

$T_м$ – продолжительность межрегенерационного периода, ч.

$$T_м = \frac{24}{n_{рег}} - \left(t_{взр} + t_{рег} + t_{отм}\right), \text{ ч}, \tag{21}$$

где $t_{взр}$ – продолжительность взрыхления, ч;

$t_{рег}$ – продолжительность регенерации, ч;

$t_{отм}$ – продолжительность отмывки, ч.

Фактическая скорость фильтрования при нормальном режиме:

$$V^{н} = \frac{q_{час}}{n_{ф} \cdot f_1} < V_{расч} , \qquad (22)$$

где f_1 – площадь принятого типового фильтра, м^2;

$n_{ф}$ – число рабочих фильтров.

Фактическая скорость фильтрования при форсированном режиме (при отключении из работы одного фильтра):

$$V^{ф} = \frac{q_{час}}{(n_{ф} - 1) \cdot f_1} . \qquad (23)$$

Допускается кратковременное увеличение скорости фильтрования на 10 м/ч по сравнению с рекомендованными скоростями при выключении фильтров на регенерацию.

Na-катионитовые фильтры регенерируются раствором поваренной соли.

Расход поваренной соли на одну регенерацию:

$$P_c = f_1 \cdot H_к \cdot E^{Na}_{раб} \cdot a_c / 1000 \text{, кг} , \qquad (24)$$

где a_c – удельный расход соли на 1г-экв рабочей обменной емкости.

3.1.2. Расчет Na-катионитовых фильтров II ступени

Особенностью расчета фильтров при двухступенчатом катионировании заключается в том, что сначала рассчитываются фильтры II ступени, для которых определяется необходимый расход воды на отмывку катионита, при этом расчет *Na*-катионитовых фильтров II ступени аналогичен расчету фильтров I ступени (п. 3.1.1). Необходимые для расчета технологические параметры приведены в табл. 4.

Затем рассчитываются фильтры I ступени с учетом пропуска расходов воды для отмывки катионита фильтров II ступени.

3.2. H-Na-катионитовое умягчение

H-Na – катионитовый способ умягчения может проводиться по схемам параллельного (рис. 8), последовательного (рис. 9) и совместного (рис. 10) катионирования. Условия применения схем H-Na-катионирования приведены в табл. 7.

Таблица 7

Условия применения схем H-Na-катионирования

Схемы H-Na-катионирования	Технологический процесс	Умягчаемая воды			Умягченная вода	
		$Ж_{о.исх}$, мг-экв/л	$SO_4^{2-} + Cl^-$, мг-экв/л	Na^+, мг-экв/л	$Щ_у$, мг-экв/л	$Ж_у$, мг-экв/л
Параллельное	Часть воды пропускается через *Na*-катионитовый фильтр, другая часть – через *H*-катионитовый, после чего оба фильтрата (щелочной и кислый) смешиваются, и происходит их взаимная нейтрализация. Затем вся вода поступает в дегазатор для удаления свободной углекислоты	$\frac{Ж_К}{Ж_Н} \geq 0{,}5$ при $Ж_Н < 3{,}5$	≤ 4	≤ 2	0,4	0,1
Последовательное	Часть воды проходит через *H*-катионитовый фильтр, смешивается с остальной водой для нейтрализации кислотности фильтрата и пропускается через дегазатор для удаления свободной углекислоты. Затем вся вода пропускается через *Na*-катионитовый фильтр	$\frac{Ж_К}{Ж_Н} \geq 0{,}5$ при $Ж_Н > 3{,}5$	≤ 4	–	0,7	0,01
Совместное	Вся вода пропускается через катионитовый фильтр, отрегенерированный так, что верхние слои катионита содержат обменные катионы H^+, нижние Na^+	$\frac{Ж_К}{Ж_Н} > 1$ при $Ж_о < 6$	≤ 2–3	< 1–1.5	1,5 – 2	0,1–0,3

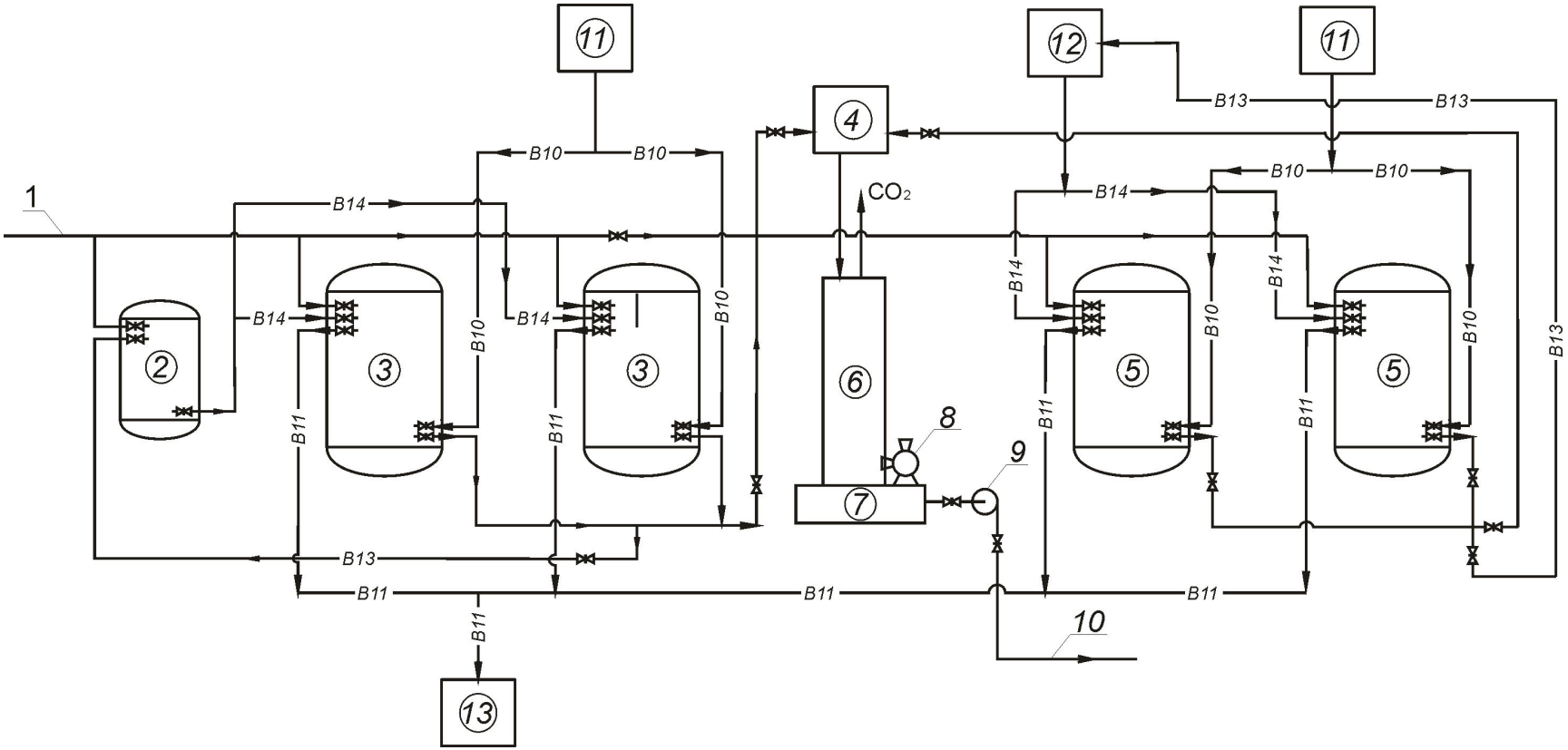


Рис. 8. Умягчение воды параллельным H-Na-катионированием:

1 – подача исходной воды; 2 – солерастворитель; 3 – Na-катионитовые фильтры; 4 – смеситель; 5 – H-катионитовые фильтры; 6 – дегазатор; 7 – резервуар умягченной воды; 8 – вентилятор; 9 – насос; 10 – отвод умягченной воды; 11 – бак с водой для взрыхления; 12 – бак для хранения раствора кислоты; 13 – резервуар отвода воды после взрыхления

Обозначения трубопроводов: В10 – подача воды на взрыхление; В11– отвод воды после взрыхления; В12 – подача раствора соли; В13 – отвод первого фильтрата; В14 – подача кислоты.

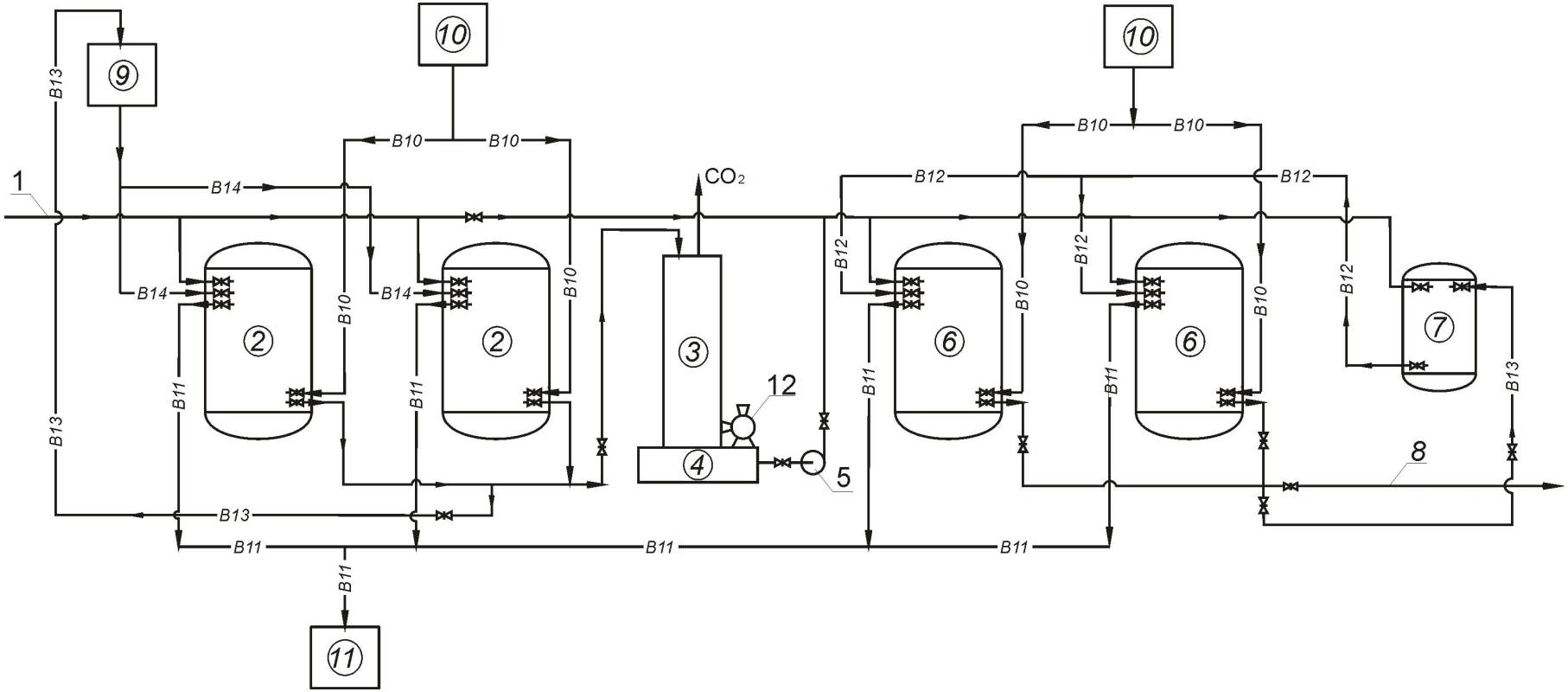


Рис. 9. Умягчение воды последовательным H-Na-катионированием:

1 – подача исходной воды; 2 – Н-катионитовые фильтры; 3 – дегазатор; 4 – резервуар умягченной воды; 5 – насос; 6 – Na-катионитовые фильтры; 7 – солерастворитель; 8 – отвод умягченной воды; 9 – бак для хранения раствора кислоты; 10 – бак с водой для взрыхления; 11 – бак отвода воды после взрыхления; 12 – вентилятор

Обозначения трубопроводов: В10 – подача воды на взрыхление; В11– отвод воды после взрыхления; В12 – подача раствора соли; В13 – отвод первого фильтрата; В14 – подача кислоты.

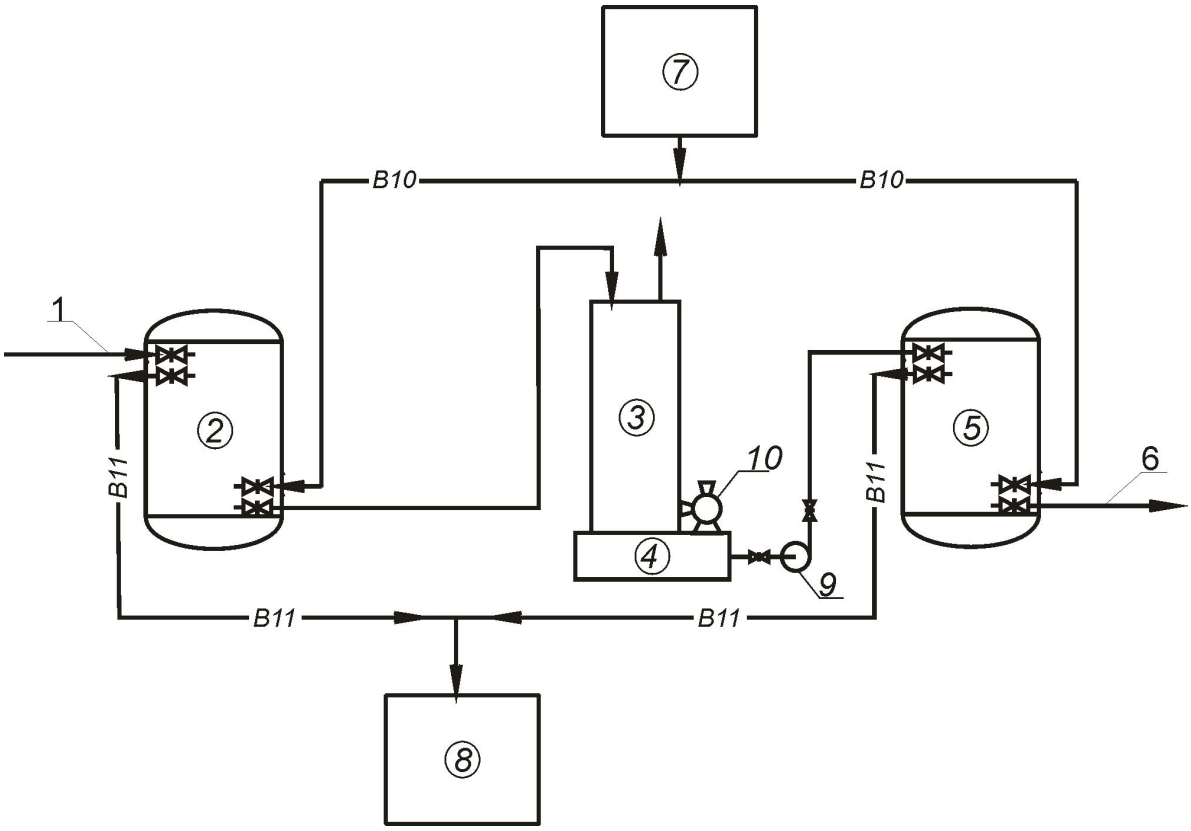


Рис. 10. Умягчение воды совместным Н-Na-катионированием:

1 – подача исходной воды; 2 – Н-Na-катионитовый фильтр; 3 – дегазатор; 4 – резервуар умягченной воды; 5 – буферный Na-катионитовый фильтр; 6 – отвод умягченной воды; 7 – бак с водой для взрыхления; 8 – бак отвода воды после взрыхления; 9 – насос; 10 – вентилятор.

Обозначения трубопроводов: В10 – подача воды на взрыхление; В11– отвод воды после взрыхления.

Расход воды, подаваемый на Н-катионитовые фильтры при параллельном Н-Na-катионировании:

$$q_{пол}^{Н} = q_{пол} \frac{Щ_{исх} - Щ_{у}}{А + Щ_{исх}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \qquad (25)$$

где $q_{пол}$ – полезная производительность Н-Na-катионитовой установки, м^3/ч;

$Щ_{исх}$ – щелочность исходной воды, г-экв/м^3;

$Щ_{у}$ – требуемая щелочность умягченной воды, г-экв/м^3;

$А$ – суммарное содержание в умягченной воде анионов сильных кислот (сульфатов, хлоридов).

Расход воды, подаваемой на Na-катионитовые фильтры при параллельном H-Na-катионировании:

$$q_{пол}^{Na} = q_{пол} - q_{пол}^{H}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (26)$$

Расход воды, подаваемый на H-катионитовые фильтры при последовательном H-Na-катионировании:

$$q_{пол}^{H} = q_{пол} \frac{Щ_{исх} - Щ_1}{Щ_{исх} + b - Щ_1}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (27)$$

где $Щ_1$ – задаваемая щелочность смешения воды перед Na-катионитовыми фильтрами (обычно равна 0.7 г-экв/м^3);

b – кислотность воды после H-катионитовых фильтров, средняя за цикл их работы при отключении на регенерацию в момент увеличения щелочности фильтрата до 0,35–1 г-экв/м^3.

Расход воды, подаваемый на Na-катионитовые фильтры при последовательном H-Na-катионировании:

$$q_{пол}^{Na} = q_{пол}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (28)$$

Расчет трубопроводов и фильтров следует производить на режимы:

– при наибольшей нагрузке на H-катионитовые фильтры при наибольшей щелочности (*Щ)* воды и наименьшем содержании в ней анионов сильных кислот (*А*);

– при наибольшей нагрузке на Na-катионитовые фильтры при наименьшей щелочности (*Щ*) воды и наибольшем содержании в ней анионов сильных кислот (*А*).

Необходимые для расчета технологические параметры H-катионитных фильтров приведены в табл. 6.

Объем катионита H-катионитных фильтров:

$$W_H = \frac{24\, q_{пол}^{H} \left(Ж_у + C_{Na}\right)}{n_{рег} \cdot E_{раб}^{H}}, \text{ м}^3, \quad (29)$$

где $Ж_у$ – общая жесткость умягченной воды, г-экв/м^3;

$n_{рег}$ – число регенераций каждого фильтра в сутки ($n_{рег}$=1–3 [2]);

$E_{раб}^{H}$ – рабочая обменная емкость H-катионита, г-экв/м^3;

C_{Na} – концентрация в воде натрия, г-экв/м^3.

Объем катионита Na-катионитовых:

$$W_{Na} = \frac{24 \cdot q_{пол}^{Na} \cdot Ж_{у}}{n_{рег} \cdot E_{раб}^{Na}}, \text{ м}^3. \quad (30)$$

Дальнейший расчет Na-катионитовых фильтров проводится согласно п. 3.1.1.

Рабочая обменная емкость $E_{раб}^{H}$ Н-катионита:

$$E_{раб}^{H} = \alpha_{H} \cdot E_{полн} - 0.5 q_{уд.отм.} \cdot C_{кат}, \quad (31)$$

где α_H – коэффициент эффективности регенерации Н-катионита, учитывающий неполноту регенерации катионита, принимается по табл. 8;

$E_{полн}$ – полная обменная емкость катионита, г-экв/м^3;

$C_{кат}$ – общее содержание в воде катионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} и K^{+}, г-экв/м^3;

$q_{уд.отм.}$ – удельный расход воды на отмывку катионита, м^3 на 1 м^3 катионита.

Таблица 8

$a_к$, г-г/экв	50	100	150	200
α_H	0.68	0.85	0.91	0.92

Площадь Н-катионитовых фильтров:

$$F_H = \frac{W_H}{H_к}, \text{ м}^2, \quad (32)$$

где $H_к$ – высота слоя катионита в фильтре, принимаемая 2–2.5 м (большую высоту следует принимать при $Ж_{о\ исх}$ >10 г-экв/м^3).

Принимаются размеры и количество фильтров учитывая, что рабочих Н- и Na-катионитных фильтров должно быть не менее двух. Количество резервных Н-катионитных фильтров надлежит принимать: 1 – при количестве рабочих фильтров до 6 и 2 – при большем количестве. Резервные Na-катионитные фильтры устанавливать не следует. Но должна быть предусмотрена возможность использования резервных Н-катионитных фильтров в качестве Na-катионитных фильтров.

Расчетная скорость фильтрования:

$$V_{расч}^{H} = \frac{E_{раб}^{H} \cdot H_{к}}{T_{о} + (Ж_{о} + C_{Na}) + 0.025 d_{80}^{2} \ln \frac{(Ж_{о} + C_{Na})_{исх}}{(Ж_{о} + C_{Na})_{ф}}}, \text{ м/ч}, \quad (33)$$

где $T_{о}$ – продолжительность работы фильтра при снижении кислотности фильтрата до нуля, ч (10.5 ч);

«исх» – исходная вода;

«ф» – фильтрат Н-катионитовых фильтров.

Фактические скорости фильтрования при нормальном и форсированном режимах определяются по формулам (22) и (23), соответственно.

Н-катионитовые фильтры регенерируются раствором серной кислоты.

Расход 100%-ой кислоты на 1 регенерацию Н-катионитного фильтра:

$$P_{к} = f_{1} \cdot H_{к} \cdot E_{раб}^{H} \cdot a_{K} / 1000, \text{ кг}, \quad (34)$$

где a_{K} – удельный расход кислоты для регенерации катионита, г/г-экв, принимаемый по рис. 11.

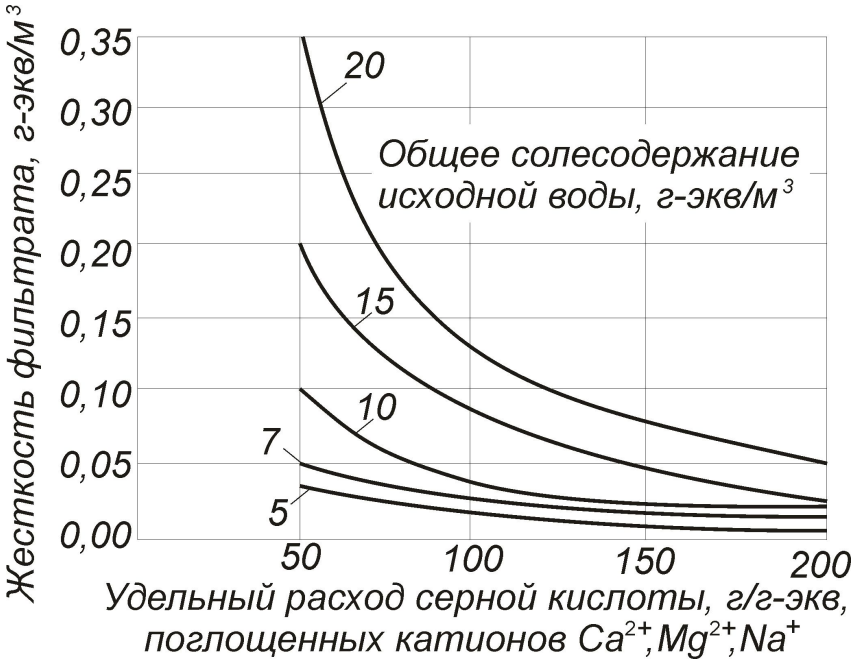


Рис. 11. График для определения общей жесткости воды, умягченной водород-катионированием

3.3. Оборудование катионитовых установок

3.3.1. Катионитовые фильтры

Наиболее широко применяются напорные вертикальные фильтры (рис. 12), состоящие из цилиндрического корпуса, нижней дренажной системы для отвода из фильтра умягченной воды и подачи на него воды для взрыхления катионита, верхней распределительной системы подачи в фильтр регенерационного раствора и для отвода из фильтра воды при взрыхлении катионита и распределения по площади умягчаемой воды. Фильтр оборудуется необходимым количеством задвижек и вентилей для управления работой фильтра, отбора проб воды, контрольно-измерительной аппаратурой.

Технические характеристики напорных вертикальных катионитовых фильтров приведены в табл. 9.

Для осуществления регенерации H- и Na-катионитных фильтров предусматривают устройство, соответственно, кислотного и солевого хозяйств.

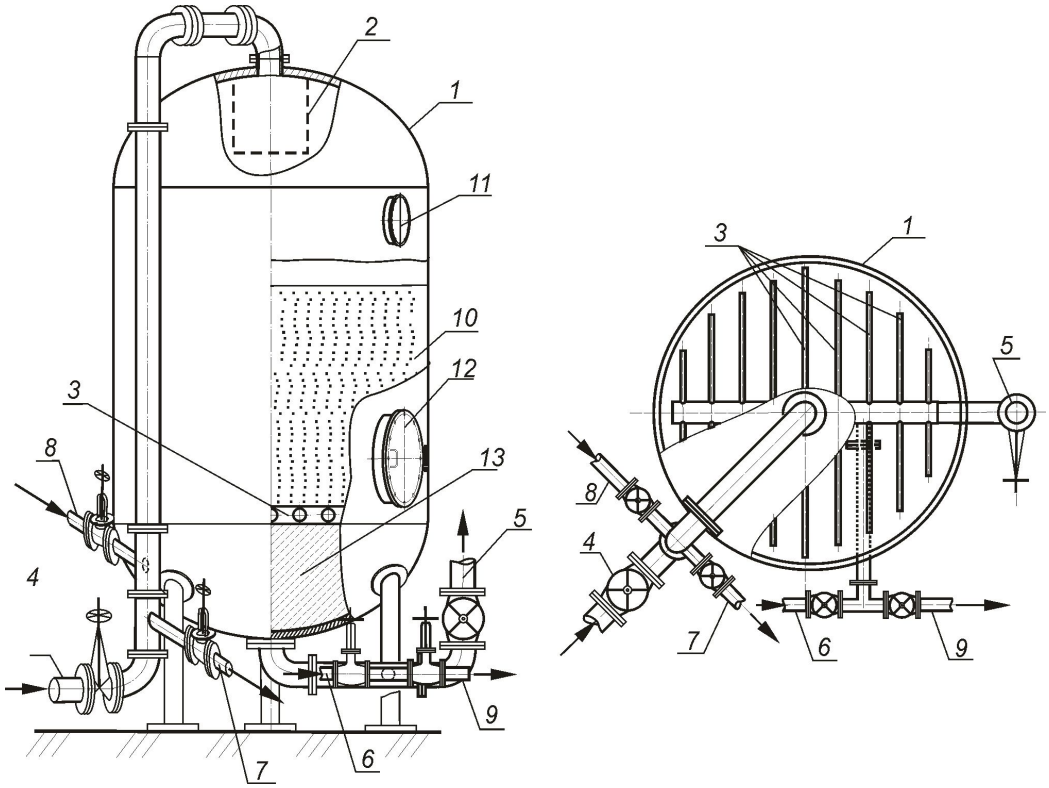


Рис. 12. Катионитовый фильтр:
1 – цилиндрический корпус; 2 – распределительное устройство; 3 – дренажная система; 4 – подвод умягчаемой воды; 5 – отвод умягченной воды; 6 – подвод воды на взрыхление катионитовой загрузки; 7 – отвод воды от взрыхления катионитовой загрузки; 8 – подвод регенерационного раствора; 9 – отвод отработанного регенерационного раствора; 10 – катионитовая загрузка; 11 – контрольный лаз; 12 – загрузочный лаз; 13 – бетонная подушка

Таблица 9

Технические характеристики напорных катионитовых фильтров

Название фильтра	Шифр	Завод-изготовитель	Диаметр, мм	Строительная высота, мм	Масса без загрузки, кг	Нагрузочная масса, т
Na-катионитовый I ступени	–	БиКЗ	1000	3688	1012	5,0
	–	БиКЗ	1500	3980	1660	10,0
Na-катионитовый II ступени	–	БиКЗ	1000	2978	926	3,5
	–	БиКЗ	1500	3373	1614	7,5
Н-катионитовый I ступени	–	БиКЗ	1000	3598	1039	5,0
	–	БиКЗ	1500	3928	1692	10,0
Н-катионитовый II ступени	–	БиКЗ	1000	2923	957	3,5
	–	БиКЗ	1500	3314	1678	7,5
Ионообменный Na-катионитовый I ступени	ФИПа 1-1,0-0,6	БиКЗ	1000	3753	1068	5,9
	ФИПа 1-1,4-0,6	БиКЗ	1400	4016	1771	6,8
Ионообменный Na-катионитовый II ступени	ФИПа 1-1,0-0,6	БиКЗ	1000	3040	984	4,7
	ФИПа 1-1,4-0,6	БиКЗ	1400	3410	1666	5,6
Ионообменный Н-катионитовый I ступени	ФИПа 1-1,0-0,6	БиКЗ	1000	3660	1069	5,8
	ФИПа 1-1,4-0,6	БиКЗ	1400	3962	1760	6,8
Ионообменный Н-катионитовый II ступени	ФИПа 1-1,0-0,6	БиКЗ	1000	2988	966	4,6
	ФИПа 1-1,4-0,6	БиКЗ	1400	3352	1720	5,7

3.3.2. Расчет солевого хозяйства

Выбор и расчет сооружений и устройства для хранения, приготовления и подачи регенерирующего раствора, в качестве которого для Na-катионитовых фильтров следует предусматривать раствор технической поваренной соли, определяется производительностью водоумягчительных установок.

При производительности установок до 10 $м^3$/ч с расходом соли на регенерацию менее 0.5 т/сут рекомендуется хранение соли в сухом виде в отапливаемых складах навалом высотой не более 2 м [3]. Растворение соли производится в проточных солерастворителях. Концентрация раствора соли, выходящего из солерастворителя, неблагоприятна для регенерации – вначале она большая и по мере растворения соли падает. Поэтому иногда раствор соли из солерастворителя направляют в отдельный бак, где поддерживают концентрацию рассола в пределах 10%, затем при регенерации его разбавляют.

По величине расхода соли подбирают тип и число серийно изготавливаемых солерастворителей (рис. 13), при этом количество воды, необходимое для растворения 1 кг технической соли, принимают равным 10 л, а предельно допустимую скорость фильтрования раствора соли через гравийные слои солерастворителя – 6 м/ч. Технические характеристики солерастворителей приведены в табл. 10.

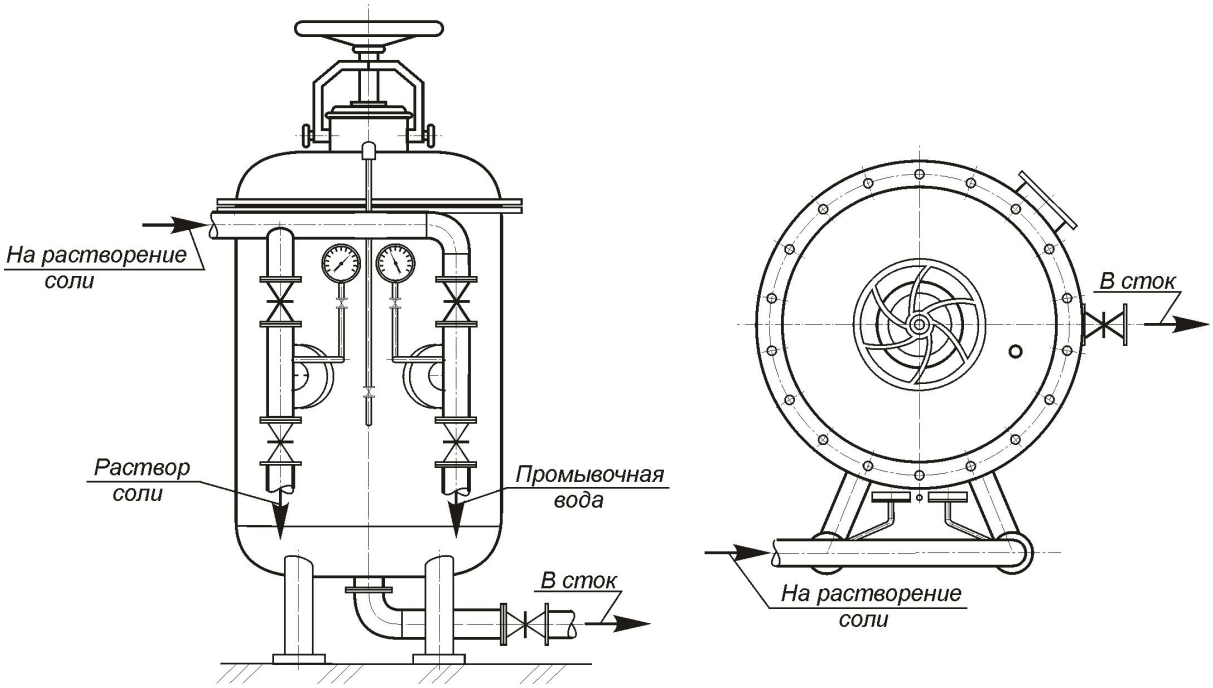


Рис. 13. Солерастворитель

Таблица 10

Параметры типовых солерастворителей

Диаметр, мм	Полезная емкость по соли, кг	Полная высота, мм	Высота корпуса, мм	Вес метал-ла, кг	Нагрузочный вес, т	Рабочее давление, кгс/см^2
478	100	1725	1185	370	0.7	8
670	240	1550	1025	420	1.0	6
1030	550	1880	1205	840	2.0	6

Объем раствора соли:

$$W_{р.с.} = \frac{P_c \cdot S}{1000 \cdot n_c \cdot \rho_р}, \text{ м}^3, \qquad (35)$$

где S = 10 л – количество воды на растворение 1 кг технической соли;

n_c – число рабочих солерастворителей;

$\rho_р$ – плотность рабочего регенерационного раствора, т/м^3.

Плотность раствора соли $\rho_р$=1.03–1.06 т/м^3.

Скорость фильтрования раствора соли через гравийные слои солерастворителя [1]:

$$V_{с.р.} = \frac{4W_{р.с.}}{\pi D_{с.р.}} < V_{с.р.}^{\max} = 6 \text{ м/ч}. \qquad (36)$$

где $D_{с.р.}$ – диаметр принятого типового солерастворителя, м.

При производительности умягчительных установок более 10 м^3/ч и больших расходах соли целесообразно применять «мокрое» хранение соли.

Схема мокрого хранения соли (рис. 14) состоит из баков-хранилищ, кварцевых фильтров для осветления раствора соли, насосов, эжектора. Железобетонные баки-хранилища обычно располагаются вне здания с некоторым заглублением в грунт и перекрывают щитами. Для осветления применяются фильтры со скоростью фильтрования 4–5 м/ч с высотой слоя песка 0,6–0,8м с крупностью зерен 1–1,5мм. Осветленный концентрированный раствор соли собирается в бак из двух отделений, используемый в качестве мерников. Целесообразно подавать рассол на катионитовые фильтры эжектором, одновременно разбавляя его до нужной концентрации. На трубопроводе эжектирующей воды устанавливается расходомер, за эжектором автоматический концентратомер.

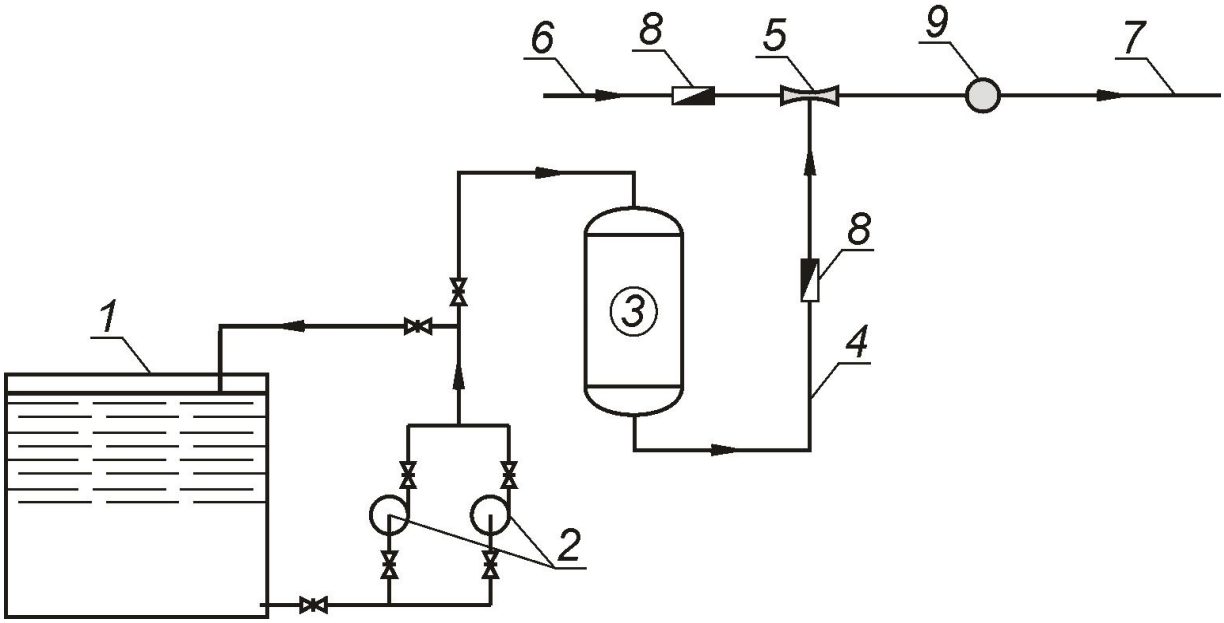


Рис. 14. Схема солевого хозяйства:

1 – бак-хранилище; 2 – насосы; 3 – кварцевый осветлительный фильтр; 4 – концентрированный раствор соли; 5 – эжектор; 6 – подача воды; 7 – отвод разбавленного регенерационного раствора соли; 8 – расходомер; 9 – концентратомер

Полный запас соли определяется в зависимости от принятого срока хранения, исходя из количества фильтров и количества регенераций каждого фильтра:

$$P_c^{пол} = P_c \cdot n_{рег} \cdot n_ф \cdot m / 1000 \text{, т}^3, \quad (37)$$

где m – срок хранения запаса реагента, сут. (m = 30 сут [3]);

Емкость баков-хранилищ:

$$W_{б-х} = P_c^{пол} \cdot q_{уд} \text{, м}^3, \quad (38)$$

где $q_{уд}$ – удельный расход воды, приходящийся на 1 т соли, м^3 ($q_{уд}$ = 1.5 м^3/т [3]).

Производительность насоса, подающего регенерационный раствор на фильтр:

$$q = \frac{V \cdot f_1 \cdot C_p}{C_к} \text{, м}^3/\text{ч}, \quad (39)$$

где V – скорость фильтрования регенерационного раствора через катионитный фильтр, м/ч;

C_p – концентрация рабочего раствора, %.

3.3.3. Расчет кислотного хозяйства

В состав кислотного хозяйства (рис. 15), обеспечивающего месячный запас реагента, входят: цистерны-хранилища, мерники для концентрированной серной кислоты, вакуум-насосы и оборудование для подачи рабочего раствора на фильтры (эжектор или насосы).

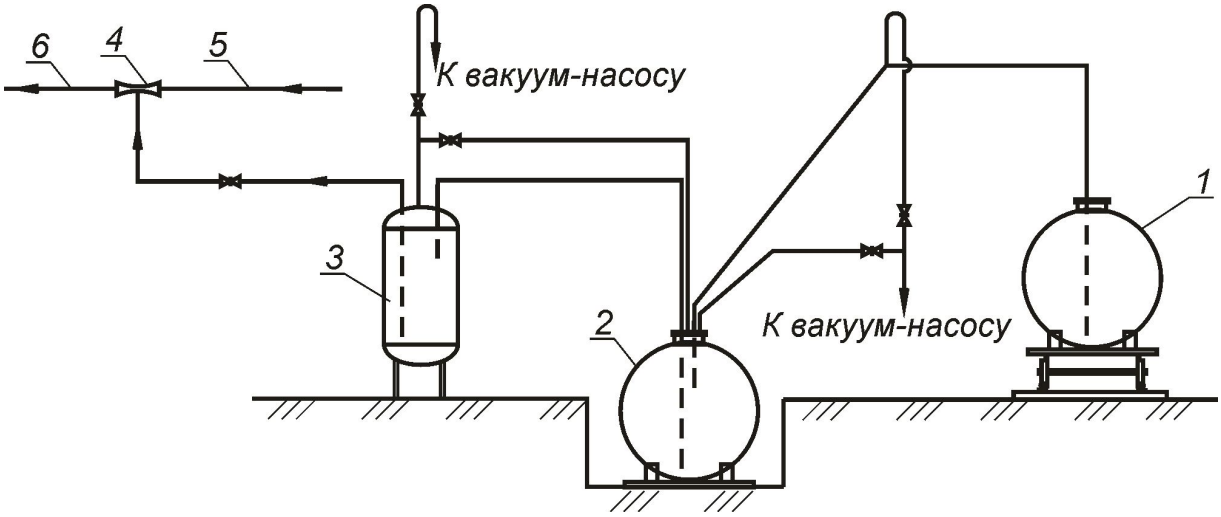


Рис. 15. Схема кислотного хозяйства:

1 – железнодорожная цистерна; 2 – цистерна-хранилище; 3 – мерник; 4 – эжектор; 5 – подача воды; 6 – разбавленный регенерационный раствор кислоты.

Серную кислоту переливают из железнодорожных цистерн в цистерны-хранилища сифоном, который заряжается вакуум-насосом. Под вакуумом кислота поступает в мерник, затем эжектором подается на Н-катионитный фильтр с одновременным разбавлением до 1–1.5%.

Объем цистерн-хранилищ серной кислоты:

$$W_{ц-х} = \frac{24 \cdot q^{H}_{пол} \cdot Ж_{о.исх} \cdot a_{К} \cdot m}{10000 \cdot \rho_{к} \cdot C_{к}}, \text{ м}^3. \qquad (40)$$

Концентрация серной кислоты $C_к$ = 90–92%, плотность кислоты при данной концентрации $\rho_к$ = 1.5–1.8 т/м^3; $C_р$ = 1–1.5%, плотность кислоты при данной концентрации $-\rho_р$ = 1.01 т/м^3.

Полученное значение $W_ц$ округляется до величины, кратной емкости железнодорожной цистерны, в которой осуществляется доставка реагента на станцию водоподготовки. Количество и размеры цистерн-хранилищ оп-

ределяют из расчета грузоподъемности ж/д цистерн, равной 50–60 т, что соответствует объему кислоты порядка 28–33 м^3 при ее плотности 1.8 т/м^3.

Полезная емкость мерника:

$$W_м = \frac{q^{H}_{пол} \cdot Ж_{о.исх} \cdot T \cdot a_К}{10000 \cdot n_ф \cdot \rho_к \cdot C_к}, \text{ м}^3, \quad (41)$$

где T – продолжительность фильтроцикла, ч.

Производительность насоса, подающего кислоту на фильтр, определяется по формуле (39).

Объем бака для воды, используемой для взрыхления катионита, определяется на последовательное проведение этой операции 2-х фильтров:

$$W_в = \frac{2 \cdot \omega_{взр} \cdot f_1 \cdot t_{взр} \cdot 60}{1000}, \text{ м}^3, \quad (42)$$

где $\omega_{взр}$ – интенсивность взрыхления, л/с·м^2;

$t_{взр}$ – продолжительность взрыхления, мин.

3.4. Расходы воды на собственные нужды установки

Расходы воды на собственные нужды установки:

$$Q_{с.н.} = n_ф \cdot n_{рег} (q_{взр} + q_{р.р.} + q_{отм}), \quad \text{м}^3/\text{сут}, \quad (43)$$

где $q_{взр}$ – расход воды на взрыхление, м^3/сут;

$q_{р.р.}$ – расход воды на приготовление регенерационного раствора, м^3/сут.

$q_{отм}$ – расход воды на отмывку катионитовой загрузки, м^3/сут.

При повторном использовании отмывочной воды для взрыхления фильтров расход воды на собственные нужды сокращается на $q_{взр}$.

Расход на взрыхление катионита:

$$q_{взр} = \frac{\omega_{взр} \cdot f_1 \cdot t_{взр} \cdot 60}{1000}, \quad (44)$$

где $\omega_{взр}$ – интенсивность взрыхления, л/с·м^2;

$t_{взр}$ – продолжительность взрыхления, мин.

Расход воды на приготовление регенерационного раствора при «мокром» хранении соли:

$$q_{р.р.}^{мок} = \frac{P_c}{10 \cdot C_p \cdot \rho_p} \quad . \tag{45}$$

Расход воды на приготовление регенерационного раствора при «сухом» хранении соли и промывку солерастворителя:

$$q_{р.р.}^{сух} = q_{р.с.} + q_{пр.с.} \, , \tag{46}$$

где $q_{р.с.}$ – расход воды на растворение соли;

$q_{пр.с.}$ – расход воды на промывку солерастворителя.

$$q_{р.с.} = \frac{P_c \cdot S}{1000} \, , \tag{47}$$

где S = 10 л – количество воды на растворение 1 кг технической соли

$$q_{пр.с.} = \frac{\omega_c \cdot f_c \cdot t_c \cdot 60}{1000} \, , \tag{48}$$

где ω_c – интенсивность промывки солерастворителя, л/с·м^2 (ω_c=5 л/с·м^2);

f_c – площадь солерастворителя, м^2;

t_c – продолжительность промывки солерастворителя, мин. (t_c=5мин.).

Расход воды на приготовление регенерационного раствора кислоты:

$$q_{р.к.} = \frac{P_к}{10 \cdot C_p \cdot \rho_p} \quad . \tag{49}$$

Расход на отмывку катионитовой загрузки от продуктов регенерации:

$$q_{отм} = q_{уд.отм} \cdot f_1 \cdot H_к \, , \quad м^3 \, , \tag{50}$$

где $q_{уд.отм}$ – удельный расход отмывочной воды, м^3/м^3.

Список литературы

1. Кожинов В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. – М.: Стройиздат, 2005. – 303 с.

2. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: учебное пособие. Т. 2: изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 496 с.

3. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВОК ВОДОПОДГОТОВКИ

Часть I

Умягчение воды

Методические указания к практическим занятиям,
выполнению курсового проекта и ВКР
для студентов направления подготовки
08.03.01 «Строительство»,
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Составители: Нуруллин Жядит Салихзянович,
Шешегова Ирина Геннадьевна