

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения

## **Методические указания**

для выполнения курсовых проектов и практических занятий

для студентов специальности

1-70 04 03 - дневной и заочной форм обучения по дисциплине

***«Технология специальной водоподготовки  
в промышленном водоснабжении»***

Брест 2009

УДК 628.1.

Методические указания составлены в помощь студентам специальности 1-70 04 0 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», изучающим дисциплину «Технология специальной водоподготовки в промышленном водоснабжении», в соответствии с учебным планом.

Методические указания включают систематизированный методический материал: по разработке балансовой схемы производственного водоснабжения; по проектировании станций спецводоподготовки, включая разработку технологических схем и расчёт сооружений для умягчения, обессоливания; по разработке компоновочного плана здания спецводоподготовки и генплана площадки промпредприятия с сетями и сооружениями производственного водоснабжения.

**Составители:** Г.А. Волкова, доцент, к.т.н.;  
С.В. Андреюк, ассистент;  
П.Ф. Янчилин, ассистент, м.т.н.

**Рецензент:** В.А. Вавринюк, зам. директора государственного предприятия «Брестводоканал».

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. СОСТАВ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	6
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ. БАЛАНСОВАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	8
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ СТАНЦИИ СПЕЦВОДО-ПОДГОТОВКИ В СИСТЕМЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	10
3.1. АНАЛИЗ ВОДЫ В ИСТОЧНИКЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ВОДОПОДГОТОВКИ.....	10
3.2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ.....	12
3.2.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПО ГЛУБОКОМУ УМЯГЧЕНИЮ... 12	
3.2.1.1. Расчет ионообменных фильтров. Расчет расходов на собственные нужды установки. Расчет баков с водой для взрыхления слоя ионита.....	14
I. Na-катионирование.....	14
I.1. Расчет одноступенчатой Na-катионитовой установки.....	14
I.2. Расчет Na-катионирования по двухступенчатой схеме.....	17
II. H-Na-катионирование.....	18
II.1. Расчет параллельного H-Na-катионирования.....	19
II.2. Расчет последовательного H-Na-катионирования.....	22
3.2.1.2. Расчет солевого хозяйства (регенерация Na-катионитовых фильтров).....	24
3.2.1.3. Расчет кислотного хозяйства (регенерация H-катионитовых фильтров).....	26
3.2.1.4. Расчет дегазатора.....	28
3.2.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПО ГЛУБОКОМУ ОБЕССОЛИВАНИЮ.....	30
3.2.2.1. Расчет ионообменных фильтров. Расчет расходов на собственные нужды установки. Расчет баков с водой для взрыхления слоя ионита.....	32
I. Расчет H-катионитовых фильтров.....	32
II. Расчет анионитовых фильтров.....	33
3.2.2.2. Расчет кислотного хозяйства (регенерация H-катионитовых фильтров).....	37
3.2.2.3. Расчет реагентного хозяйства для регенерации анионитовых фильтров.....	37
3.2.2.4. Расчет дегазатора.....	39
3.2.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПО ОСВЕЩЕНИЮ, ОБЕСЦВЕЧИВАНИЮ И УМЯГЧЕНИЮ РЕАГЕНТНЫМ МЕТОДОМ.....	39
3.2.3.1. Построение диаграммы гипотетического состава воды.....	39
3.2.3.2. Выбор реагентного метода умягчения.....	40
3.2.3.3. Выбор состава сооружений технологической схемы.....	40
3.2.3.4. Технологические схемы.....	41
3.2.3.5. Расчет сооружений технологических схем для реагентного умягчения воды.....	41

4. РАЗРАБОТКА КОМПОНОВОЧНОГО ПЛАНА ЗДАНИЯ СТАНЦИИ СПЕЦВОДОПОДГОТОВКИ И ГЕНПЛАНА ПЛОЩАДКИ ПРОМПРЕДПРИЯТИЯ С СЕТЯМИ И СООРУЖЕНИЯМИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	50
4.1 РАСЧЁТ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ЁМКОСТИ В СИСТЕМЕ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	51
Приложение 1. Пример балансовой схемы производственного водоснабжения.....	
Приложение 2. Пример технологической схемы водоподготовки.....	
Приложение 3. Пример компоновочного плана здания спецводоподготовки.....	
Приложение 4. Пример расчёта сооружений по глубокому умягчению методом одноступенчатого Na-катионирования.....	52
Приложение 5. Пример расчёта сооружений по глубокому обессоливанию методом трёхступенчатого H-катионирования-анионирования.....	55
ЛИТЕРАТУРА.....	62

## ВВЕДЕНИЕ

За последние годы обострились проблемы надежного и рационального обеспечения населения, промышленных предприятий, сельского хозяйства и локальных потребителей водой необходимого качества.

Для крупных промышленных предприятий использование воды из хозяйственно-питьевого водопровода на технологические нужды запрещено, вследствие чего возникает необходимость забора воды из поверхностных источников водоснабжения (рек, озер, морей) и последующей очистки её до требуемых показателей качества воды. Для этого необходимо правильно выбирать соответствующие методики очистки природных вод и выполнять расчет необходимых сооружений, обеспечивающих нужный эффект очистки по требуемым показателям, наименьшие капитальные и эксплуатационные затраты, экологическую безопасность.

Это обязывает будущих специалистов в области водоснабжения, водоотведения, рационального использования и охраны водных ресурсов глубже овладевать знаниями, творчески подходить к решению вопросов, связанных с выбранной профессией.

Данный курсовой проект предназначен для углубления, закрепления и обобщения знаний; полученных студентами во время теоретического обучения по дисциплине «Технология слецводоподготовки в промводоснабжении», а также приобретения практических навыков проектирования станций водоподготовки в системе производственного водоснабжения.

## 1. СОСТАВ И ОБЪЁМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект выполняется на тему: «Станция водоподготовки в системе производственного водоснабжения»

В состав проекта входят: расчетно-пояснительная записка и чертежи графической части.

Исходные данные к проекту:

1. Схема генплана площадки промышленного предприятия (далее п/п) с расположением внеплощадочных сетей водоснабжения М 1:1000.

2. Источник технического водоснабжения — поверхностный. Качество воды в источнике водоснабжения характеризуется следующими показателями:

1. Взвешенные вещества, мг/л
2. Цветность, град
3. Щелочность, мг-экв/л
4. Растворенный кислород, мг/л
5. Жесткость карбонатная, мг-экв/л
6. Жесткость общая, мг-экв/л

Содержание катионов и анионов, мг/л

7.  $\text{Ca}^{2+}$
8.  $\text{Mg}^{2+}$
9.  $\text{Na}^+$
10.  $\text{HCO}_3^-$
11.  $\text{SO}_4^{2-}$
12.  $\text{Cl}^-$
13.  $\text{SiO}_3^{2-}$

3. Требования к качеству воды, подаваемой в систему производственного водоснабжения по трём потокам, характеризуется следующими данными:

*Поток I: вода - теплоноситель*

14. Полезный расход, м<sup>3</sup>/ч
15. Взвешенные вещества, мг/л
16. Цветность, град
17. Жесткость карбонатная, мг-экв/л
18. Щелочность, мг-экв/л
19.  $K_{\text{час}}$
20. Потребляемый напор Н, м

*Поток II: вода технологическая*

21. Полезный расход, м<sup>3</sup>/ч
22. Концентрация взвешенных веществ, мг/л
23. Цветность, град
24. Жесткость, мг-экв/л
25. Общее солесодержание, мг/л
26. Концентрация кремния  $\text{SiO}_3^{2-}$ , мг/л

*Поток III: вода на хозяйственно-питьевые нужды*

27. Расход, м<sup>3</sup>/ч

## СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Реферат

Введение

1. Общие сведения о системе водоснабжения и водоотведения п/п. Балансовая схема производственного водоснабжения.

2. Проектирование сооружений станции спецводоподготовки в системе производственного водоснабжения п/п.

2.1 Анализ воды в системе водоснабжения. Выбор и обоснование методов водоподготовки.

2.2 Разработка технологических схем и расчет сооружений.

2.2.1 Проектирование и расчет сооружений по глубокому умягчению. Расчет ионообменных фильтров. Расчет расходов на собственные нужды установки. Расчет баков с водой для взрыхления слоя ионита. Расчет солевого хозяйства (регенерация Na-катионитовых фильтров). Расчет кислотного хозяйства (регенерация H-катионитовых фильтров). Расчет дегазатора в схеме H-Na-катионирования. Расчет бака глубоко умягченной воды.

2.2.2 Проектирование и расчет сооружений по глубокому обессоливаю.

Расчет ионообменных фильтров. Расчет расходов на собственные нужды установки. Расчет баков с водой для взрыхления слоя ионита. Расчет кислотного хозяйства (регенерация H-катионитовых фильтров). Расчет реагентного хозяйства для регенерации анионитовых фильтров (содой или щелочью). Расчет дегазатора. Расчет бака глубоко обессоленной воды.

2.2.3 Проектирование и расчет сооружений по осветлению, обесцвечиванию и умягчению реагентным методом. Построение диаграммы гипотетического состава воды. Выбор реагентного метода умягчения (известковый, известково-содовый) и состава сооружений технологической схемы. Расчет сооружений технологической схемы, в т.ч. баков-отстойников промывных вод. Расчет резервуара осветленной и обесцвеченной воды. Расчет коагулянтного хозяйства. Расчет известкового хозяйства. Расчет содового хозяйства.

3. Разработка компоновочного плана здания спецводоподготовки и генплана площади п/п с сетями и сооружениями производственного водоснабжения. Расчет регулирующей емкости в системе хозяйственно-питьевого противопожарного водоснабжения.

Заключение

Литература

Графическая часть проекта составляет 2-3 листа чертежей формата А1, выполненных на ватмане.

Лист 1 Технологическая схема спецводоподготовки. Балансовая схема производственного водоснабжения.

Лист 2 Компоновочный план здания водоподготовки технической воды.

М 1:100 или 1:200. Генплан площадки п/п с сетями и сооружениями производственного водоснабжения М 1:500 или 1:1000.

Графическая часть оформляется в соответствии с ГОСТ 21.604-82.

## 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ. БАЛАНСОВАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Система водоснабжения должна обеспечивать потребителей водой заданного качества в требуемом количестве и под требуемым напором.

Производственные системы водоснабжения обеспечивают подачу воды на технологические нужды промышленного предприятия или цеха. Качество и количество воды в производственных водопроводах должны обеспечивать или удовлетворять требованиям технологии производства. В производственных водопроводах вода может быть питьевого качества или специально очищена (умягчена, обесцвечена и т.д.), в таких случаях предусматривается спецводоподготовка.

Производственные сточные воды образуются в результате загрязнения водопроводной воды при использовании ее в технологическом процессе. Они разделяются на загрязненные и условно-чистые.

Для составления балансовой схемы водоснабжения и водоотведения изучаются категории водопотребителей, их требования к качеству воды, источники образования производственных сточных вод и хозяйственно-бытовых сточных вод.

На балансовой схеме указываются все водопотребители (цех 1, цех 2, АБК, вспомогательные помещения) и значения расходов потребляемой им воды, образующийся сточной жидкости, количество безвозвратных потерь воды. При этом одновременно решается вопрос выбора системы и схемы водоснабжения и канализации промышленного предприятия.

На площадку п/п вода подается из поверхностного источника водоснабжения (для получения технической воды) и путём подключения к городскому водопроводу (для удовлетворения хозяйственно-питьевых нужд).

В курсовом проекте принимается объединённая система хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения. Расход воды на наружное пожаротушение на предприятии на 1 пожар условно принимается 10 л/с.

Система производственного водоснабжения проектируется в 2 потока с различными требованиями к ним по качеству воды и давлению.

При этом для 1-го потока (вода-теплоноситель) принимаем оборотную схему, а для 2-го потока (вода технологическая) - прямоточную.

Канализация промышленного предприятия осуществляется по полной раздельной схеме, в которой выделяются хозяйственно-бытовые и производственные стоки.

### На охладительных установках возникают потери:

1.  $q_{х.у.}$  – на капельный унос ветром – 3% от общего количества воды, находящейся в обороте;

2.  $q_{прод.}$  – на продувку – 10%;

3.  $q_{исп.}$  – потери на испарение – 1-5%.

Сумма потерь на охладительных установках определяет подпиточный расход.

Согласно заданию на проектирование составляется балансовая схема производственного водоснабжения (рисунок 1) с указанием полезных расходов (см. исходные данные) и расчетом баланса технической воды.

В приложении 1 представлен пример балансовой схемы производственного водоснабжения.

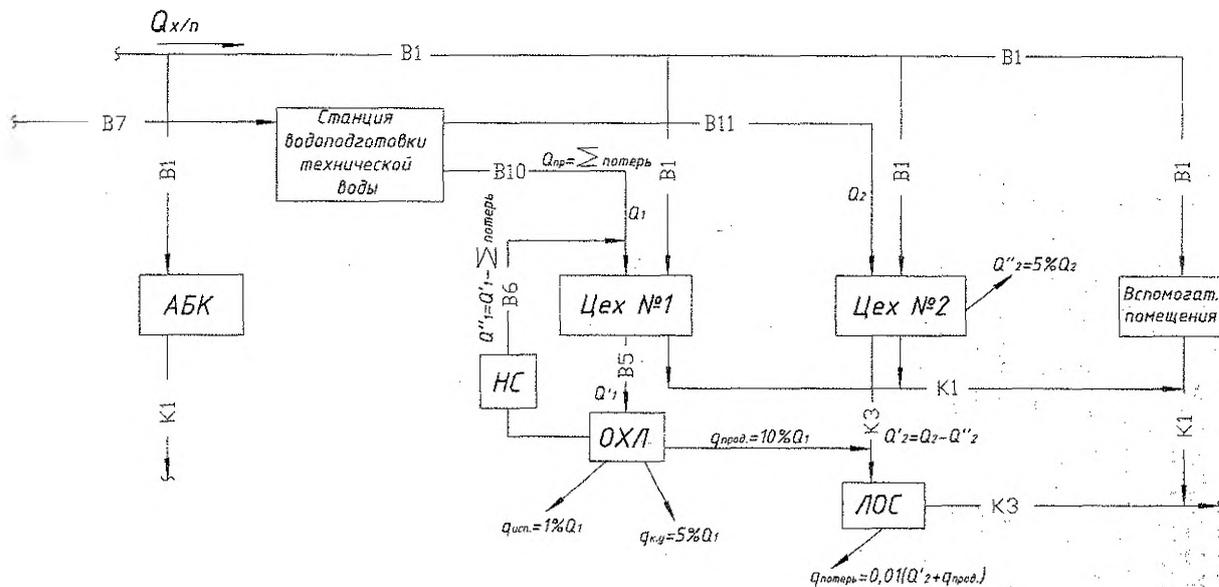


Рисунок 1 - Балансовая схема производственного водоснабжения

**Условные обозначения:**

- Q - полезные расходы, м<sup>3</sup>/ч
- B1-х/п водопровод
- B5-оборотная вода от п/п на охлаждение
- B6-оборотная вода (подающая) на п/п
- B7-речная вода
- B10-глубоко умягченная вода-теплоноситель
- B11-глубоко обессоленная вода-технологическая
- K1-бытовая канализация
- K3-производственная канализация

$Q_{пр}$  - подпиточный расход

Баланс:  $Q_2 + Q_{пр} = Q'_2 + Q''_2 + Q_{прод} + Q_{хисл.} + Q_{х.у.}$

$\sum \text{потерь} = Q_{прод} + Q_{хисл.} + Q_{х.у.}$

$Q_2 + Q_{пр} - (Q'_2 + Q_{прод}) = Q''_2 + Q_{хисл.} + Q_{х.у.}$

### **3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ СТАНЦИИ СПЕЦВОДОПОДГОТОВКИ В СИСТЕМЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

#### **3.1. АНАЛИЗ ВОДЫ В ИСТОЧНИКЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ВОДОПОДГОТОВКИ**

В соответствии с заданием на проектирование вода на производственные нужды забирается из поверхностного источника водоснабжения. Качество воды характеризуется следующими показателями: большое содержание взвешенных веществ, высокая цветность, большое содержание катионов и анионов, что обуславливает жесткость, щелочность и повышенное солесодержание, в то время как для технологических процессов требуется глубоко умягченная и обессоленная вода.

Особенности требований к качеству воды двух потоков позволяют запроектировать обработку воды в 2 основных этапа:

1) предварительная обработка исходной воды: реагентное умягчение, осветление и обесцвечивание, в результате чего качество обработанной воды будет соответствовать требованиям для использования методов глубокой очистки;

2) обработка воды по потокам: глубокое умягчение ионным обменом для выполнения требований к воде-теплоносителю и глубокое обессоливание ионным обменом для выполнения требований к воде технологической.

Умягченная вода используется в качестве теплоносителя, чтобы уменьшить отлагаемую на стенках труб накипь.

Обессоленная вода используется для технологических нужд.

Для последующего проектирования разрабатывается схема для выбора методов водоподготовки, на которой показываются расходы воды в соответствии с балансовой схемой, качество воды, поступающей из источника водоснабжения и на стадиях предварительной и глубокой очистки (рисунок 2).

В приложении 2 представлен пример технологической схемы водоподготовки согласно выбранным методам.

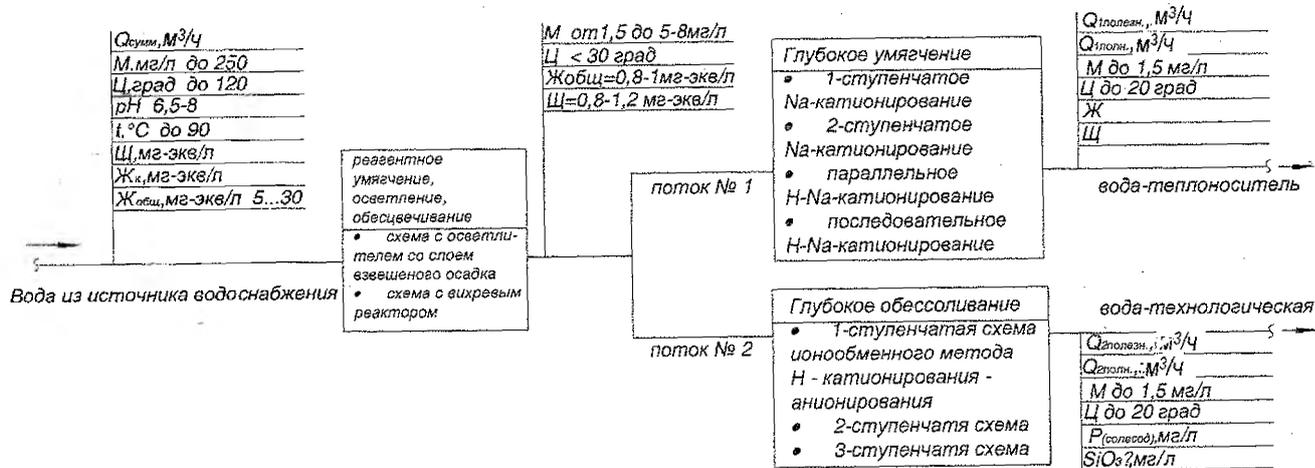


Рисунок 2 - Схема выбора методов водоподготовки

## 3.2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ

### 3.2.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ СООРУЖЕНИЙ ПО ГЛУБОКОМУ УМЯГЧЕНИЮ

Условия эффективного применения способов катионитового умягчения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия применения катионитового метода умягчения воды

Способы катионитового умягчения воды	Назначение способа	Умягчаемая вода				Умягчённая вода		
		мутность, мг/л	цветность, град	жёсткость, г-экв/л <sup>3</sup>	Na <sup>+</sup> , г-экв/л <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> +Cl <sub>1</sub> , г-экв/л <sup>3</sup>	остаточная жёсткость, г-экв/л <sup>3</sup>	остаточная щёлочность, г-экв/л <sup>3</sup>
Na-катионирование одноступенчатое	Для глубокого умягчения воды с незначительным содержанием взвешенных веществ	5-8	<30	Ж <sub>с</sub> <15			0,05-0,1	Щ <sub>ост</sub> < Ж <sub>с, макс</sub>
двухступенчатое		5-8	<30	Ж <sub>с</sub> =8-14			до 0,1	
H-Na-катионирование параллельное	Для глубокого умягчения и снижения щёлочности воды с незначительным содержанием взвешенных веществ	5-8	<30	$\frac{Ж_K}{Ж_0} \geq 0,5$ при Ж <sub>н</sub> < 3,5	<2	<4	0,1	0,4
последовательное с "головой" регенерацией H-катионитовых фильтров совместное		5-8	<30	$\frac{Ж_K}{Ж_0} \geq 0,5$ при Ж <sub>н</sub> > 3,5		<4	0,01	0,7

Натрий-катионитовый способ умягчения воды может осуществляться по одноступенчатой или двухступенчатой схеме.

Необходимые для расчёта катионитового фильтра технологические параметры приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технологические характеристики Na-катионитовых фильтров

Показатель	Фильтр I ступени	Фильтр II ступени
1	2	3
Высота слоя катионита (по заводским данным), м	2,0-2,5	1,5
Крупность зерен катионита, мм	0,5-1,2	0,5-1,2
Полная обменная емкость по заводским данным, г-экв/м, либо при их отсутствии при загрузке фильтра:		
сульфоуглем, крупностью 0,5-1,1 мм	500	500
катионитом КУ-2, крупностью 0,8-1,2 мм	1500-1700	–
Рабочая обменная емкость, г-экв/м <sup>3</sup>	по расчету	250-300
Скорость фильтрования воды, м/ч, при нормальном режиме при общей жесткости воды, г-экв/м <sup>3</sup> :		
до 5	не более 25	не более 40
5-10	15	
10-15	10	
Потери напора в слое катионита высотой 2,0(2,5) м, при скорости фильтрования, м/ч:		
5	4,0(4,5)	13-15
10	5,0(5,5)	
15	5,5(6,0)	
20	6,0(6,5)	
25	7,0(7,5)	
Взрыхление катионита:		
интенсивность подачи воды, л/с·м <sup>2</sup> , при крупности зерен катионита, мм:		
0,5-1,1	4	4
0,8-1,2	5	5
продолжительность промывки, мин	20-30	20-30
Регенерация катионита:		
удельный расход соли, г/г-экв, задержанных катионов жесткости:		
при одноступенчатой схеме	150-200	–
при двухступенчатой схеме	120-150	300-400
концентрация регенерационного (рабочего) раствора, %	5-8	8-12
скорость фильтрования регенерационного раствора, м/ч	6-8	6-8
продолжительность обработки, мин	25-40	25-40
Отмывка катионита:		
скорость пропускания отмывочной воды через катионит, м/ч	6-8	6-8
удельный расход отмывочной воды, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> , катионита при загрузке фильтра:		
сульфоуглем	5	6
катионитом КУ-2	6	8
продолжительность отмывки, мин	30-60	30-60

### 3.2.1.1. РАСЧЕТ ИОНООБМЕННЫХ ФИЛЬТРОВ. РАСЧЕТ РАСХОДОВ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ УСТАНОВКИ. РАСЧЕТ БАКОВ С ВОДОЙ ДЛЯ ВЗРЫХЛЕНИЯ СЛОЯ ИОНИТА

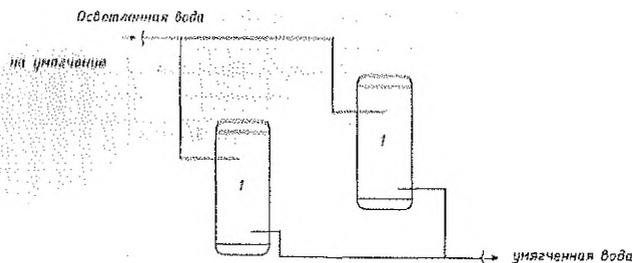
#### I. Na-КАТИОНИРОВАНИЕ

Исходные условия:  $M \leq 5 - 8$  мг/л;  $\zeta < 30$  град; жёсткость остаточная:

При одноступенчатой схеме  $J_{ост} = 0,05 - 0,1$  мг-экв/л.

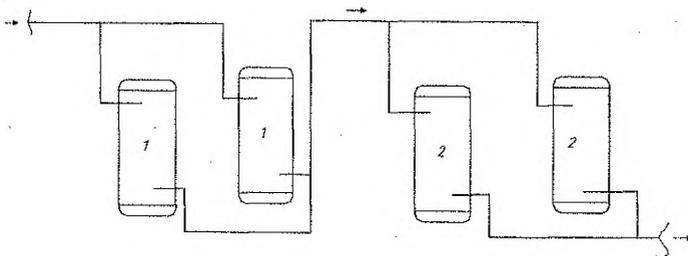
При двухступенчатой схеме  $J_{ост} < 0,1$  (0,01 - 0,02) мг-экв/л.

Щёлочность  $\zeta_{ост}$  не регламентируется ( $\zeta_{ост} < J_{ж.исл.}$ ).



1 – Na-катионитовые фильтры

Рисунок 3а – Схема установки для умягчения методом одноступенчатого Na-катионирования



1 – Na-катионитовые фильтры 1-ой ступени; 2 – Na-катионитовые фильтры 2-ой ступени

Рисунок 3б – Схема установки двухступенчатого Na-катионирования

#### I.1. РАСЧЁТ ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ Na-КАТИОНИТОВОЙ УСТАНОВКИ

1) Рабочая обменная ёмкость катионита:

$$E_{\text{роб}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{полн}} - 0,5 \cdot q_{\text{зд}} \cdot J_{\text{ост.исл.}}, \text{ г-экв/м}^3$$

где  $\alpha_{\text{Na}}$  – коэффициент эффективности регенерации Na-катионита (табл. 1 приложение 7[1], табл.15.31[5]), зависящий от удельного расхода поваренной соли: при одноступенчатой схеме  $a_c = 150 \div 200$  г/г-экв;

$\beta_{Na}$  – коэффициент, учитывающий снижение обменной ёмкости катионита (табл. 2 приложение 7[1], табл.15.32[5]), зависящий от  $C_{Na} / Ж_{0,исх.}$ , где

$$C_{Na} = \frac{[Na^+]}{23}, \text{ г-экв/м}^3;$$

$E_{полн}$  – полная обменная ёмкость катионита, г-экв/м<sup>3</sup>;  
 для сульфуголя с крупностью 0,5÷1,1 мм  $E_{полн} = 500$  г-экв/м<sup>3</sup>;  
 для КУ-2 крупностью 0,8÷1,2 мм  $E_{полн} = 1500\div 1700$  г-экв/м<sup>3</sup>.

Коэффициенты  $\alpha_{Na}$  и  $\beta_{Na}$  принимают по таблицам 3, 4.

Таблица 3.

$a_c$	100	150	200	250	300
$\alpha_{Na}$	0,6	0,74	0,81	0,86	0,9

Таблица 4.

$C_{Na} / Ж_{0,исх.}$	0,01	0,05	0,1	0,5	1	5	10
$\beta_{Na}$	0,93	0,88	0,83	0,7	0,65	0,54	0,5

2) Необходимый объём катионита:

$$W_k = \frac{24 \cdot q_v \cdot Ж_{0,исх.}}{n_p \cdot E_{раб.}^{Na}}, \text{ м}^3,$$

Где  $q_v$  – расход умягчённой воды (полезный), м<sup>3</sup>/ч;  
 $n_p$  – число регенераций каждого фильтра в сутки ( $n_p = 1\div 3$ ).

3) Задаются высотой слоя катионита и существующими типоразмерами диаметров:

$$\begin{aligned} H_k = 2,0 \text{ м} & \Rightarrow D = 1,5; 2,0 \text{ м}; \\ H_k = 2,5 \text{ м} & \Rightarrow D = 2,0; 2,6; 3,0; 3,4 \text{ м}. \end{aligned}$$

4) Площадь фильтров:

$$F = \frac{W_k}{H_k}, \text{ м}^2.$$

Полученную суммарную площадь фильтров проверяют на скорость фильтрования:

$$v = \frac{Q_{сум}}{F} \leq v_p, \text{ м/ч},$$

где  $v_p$  – рекомендуемая скорость фильтрования, м/ч (табл. 2);

$v_p \leq 25$  м/ч (I ступень),  $v_p \leq 40$  м/ч (II ступень).

В случае невыполнения условия следует увеличить  $H_k$ .

5) Подбирают диаметр  $D$  фильтров, их количество, проверяют объём  $W_{общ} > W_{кат.}$ .

По расчётной величине  $F$  подбирают типоразмер серийно выпускаемых напорных фильтров по табл. 5.

Количество рабочих фильтров I ступени не менее 2, резервных – 1.

6) Расход соли  $P_c$ , кг, на одну регенерацию  $Na$ -катионитового фильтра:

$$P_c = \frac{f \cdot H_k \cdot E_{раб.} \cdot Q_c}{1000}, \text{ кг},$$

где  $f$  – площадь одного фильтра, м<sup>2</sup>.

Таблица 5 – Технические характеристики напорных катионитовых фильтров

Название фильтра	Шифр	Завод изготовитель	Диаметр, мм	Строительная высота, мм	Масса фильтра без загрузки, кг	Нагрузочная масса, кг
Na-катионитовый I ступени	-	БикЗ БикЗ	1000 1500	3688 3960	1012 1660	5,0 10,0
Na-катионитовый II ступени	-	БикЗ БикЗ	1000 1500	2978 3373	926 1614	3,5 7,5
H-катионитовый I ступени	-	БикЗ БикЗ	1000 1500	3598 3928	1039 1692	5,0 10,0
H-катионитовый II ступени	-	БикЗ БикЗ	1000 1500	2923 3314	957 1678	3,5 7,5
Ионообменный Na-катионитовый I ступени	ФИПа I-1,0-6 ФИПа I-1,4-6	БикЗ БикЗ	1000 1400	3753 4016	1068 1771	5,9 6,8
Ионообменный Na-катионитовый II ступени	ФИПа II-1,0-6 ФИПа II-1,4-6	БикЗ БикЗ	1000 1400	3340 3410	984 1666	4,7 5,6
Ионообменный H-катионитовый I ступени	ФИПа I-1,0-6 ФИПа I-1,4-6	БикЗ БикЗ	1000 1400	3660 3962	1069 1760	5,8 6,8
Ионообменный H-катионитовый II ступени	ФИПа II-1,0-6 ФИПа II-1,4-6	БикЗ БикЗ	1000 1400	2988 3352	966 1720	4,6 5,7

Примечание: БикЗ – Бийский котельный завод.

7) Расход воды на собственные нужды  $Q_{с.н.}$ :

а) на приготовление раствора поваренной соли:

– при "мокром" хранении соли (при производительности водоумягчительной установки  $q_{ум.} > 10 \text{ м}^3/\text{ч}$ ):

$$Q_{соли} = \frac{100 \cdot n \cdot n_1 \cdot P_c}{\gamma \cdot 1000 \cdot b}, \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где  $n$  – количество промывок,  $n = n_p$ ;

$n_1$  – количество фильтров,  $n_1 = n_{Na}$ ;

$b$  – концентрация, %, рабочего раствора;  $b = 5 \div 8 \%$  – для I ступени,  $8 \div 12 \%$  – для II ступени;

$\gamma$  – удельный вес,  $\text{т}/\text{м}^3$ ,  $\gamma \approx 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

– при "сухом" хранении соли и растворении в солерастворителе ( $q_{ум}$  до  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ ):

$$Q_{соли} = n_p \cdot n_{Na} \cdot (0,001 \cdot P_c \cdot S + 0,06 \cdot f_c \cdot \omega \cdot t_c), \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где  $S$  – количество воды, л, на растворение 1 кг технической соли (10л/кг);

$f_c$  – площадь солерастворителя,  $\text{м}^2$ ;

$\omega$  и  $t_c$  – интенсивность (обычно  $5 \text{ л}/\text{с}\cdot\text{м}^2$ ) и продолжительность (~5 мин) промывки солерастворителя;

б) на взрыхление катионита:

$$Q_{взр.} = 0,06 \cdot n_p \cdot n_{Na} \cdot f_{Na} \cdot \omega \cdot t_{взр.}, \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где  $\omega$  – интенсивность взрыхления  $4 \div 5 \text{ л}/\text{с}\cdot\text{м}^2$  – производится неумягченной или отмывочной водой (табл. 2);

$t_{взр.}$  – продолжительность взрыхления, мин,  $t_{взр.} = 20 \div 30 \text{ мин}$ .

в) на отмывку:

$$Q_{отм.} = n_p \cdot n_{Na} \cdot f \cdot H_k \cdot q_{уд.}, \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где  $q_{уд}$  – удельный расход отмывочной воды,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $q_{уд}=5 \text{ м}^3/\text{м}^3$  – отмывка сульфогля,  $q_{уд}=6 \text{ м}^3/\text{м}^3$  – отмывка катионита КУ-2 (табл. 2).

$$Q_{с.п.} = Q_{отм.} + Q_{взр.} + Q_{отм.}, \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Суммарный расход, подаваемый на катионитовую установку:

$$Q = Q_{полез.} + Q_{с.п.}, \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Коэффициент, характеризующий увеличение расхода за счёт добавочной воды:

$$P_d = \frac{q_{полез.} \cdot 24 + Q_{с.п.}}{q_{полез.} \cdot 24}$$

8) Расчёт баков с водой для взрыхления слоя катионита заключается в определении их габаритов и диаметра трубопроводов обвязки с учётом возможности последовательного взрыхления катионитовой загрузки в двух фильтрах.

Объём бака,  $\text{м}^3$ :

$$W_{взр.б.} = 0,12 \cdot \omega \cdot f \cdot t_{взр.}, \text{ м}^3,$$

где  $\omega$  – интенсивность взрыхления,  $\text{л}/\text{с} \cdot \text{м}^2$  (табл. 2);

$f$  – площадь одного фильтра,  $\text{м}^2$ ;

$t_{взр.}$  – продолжительность взрыхления, мин (табл. 2).

## 1.2. РАСЧЁТ НА КАТИОНИРОВАНИЯ ПО ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СХЕМЕ

Расчёт начинают вести со 2-ой ступени, согласно предложенной схеме и с учётом расчёта одноступенчатой Na-катионитовой установки.

1)  $E_{раб. Na}$ ,  $a_c = 300 \div 400 \text{ г}/\text{г-экв}$  (табл. 2);

2)  $W_k$ ,  $\text{м}^3$ ;

3)  $H_k = 1,5 \text{ м} = D = 1,5; 2,0 \text{ м}$ .

Далее продолжается расчёт аналогично одноступенчатой схеме с определением коэффициента добавочной воды  $P_d$ :

$$P_d = \frac{q_{полез.} \cdot 24 + Q_{с.п.}}{q_{полез.} \cdot 24}$$

Расчёт I ступени:

1)  $E_{раб. a_c} = 120 \div 150 \text{ г}/\text{г-экв}$ ;

2)  $W_{кат} = \frac{\alpha \cdot Q_{сум} \cdot X_o}{n_p \cdot E_{раб. Na}}, \text{ м}^3$ ,

где  $\alpha$  – характеризует увеличение расхода с учётом собственных нужд Na-катионитовой установки I-ступени:  $\alpha = P_d$ ;

$Q_{сум}$  – суммарный расход, подаваемый на II-ступень,  $\text{м}^3/\text{сут.}$ ;

$$Q_{сум} = Q = Q_{полез.} + Q_{с.п.}$$

(см. п.7 расчёта Na-катионитовой установки I-ступени).

Далее расчёт ведётся аналогично одноступенчатой схеме.

Определяются расходы на собственные нужды двухступенчатой установки, суммарный расход, подаваемый на двухступенчатую установку и рассчитываются баки для взрыхления слоя катионита.

## II. H-Na-КАТИОНИРОВАНИЕ

Исходные условия:  $M \leq 5 - 8$  мг/л;  $\zeta < 30$  град; жёсткость остаточная:  
при параллельном H-Na-катионировании:

$J_{ост} = 0,1$  г-экв/м<sup>3</sup>;

щёлочность  $\zeta = 0,4$  г-экв/м<sup>3</sup>;

при последовательном H-Na-катионировании:

$J_{ост} = 0,01$  г-экв/м<sup>3</sup>;

щёлочность  $\zeta = 0,7$  г-экв/л.

Расчёт H- и Na-катионитовых фильтров следует производить, используя данные таблиц 2, 6.

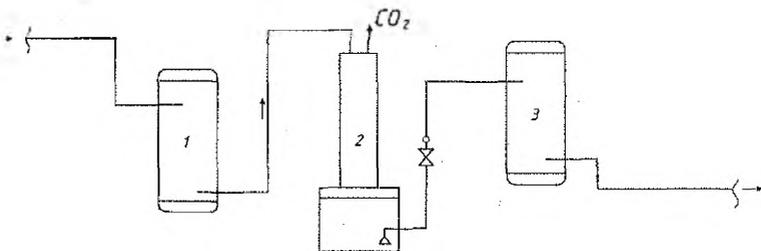
Таблица 6 – Технологические характеристики H-катионитовых фильтров

Показатель	H-катионирование	
	обычное	противоточное
Высота слоя катионита, м	2,5	3,3
Полная обменная ёмкость по заводским данным, г-экв/м <sup>3</sup> , либо при их отсутствии при загрузке фильтра:		
сульфоуглем (0,5-1,1 мм)	по табл. 2	
катионитом КУ-2 (0,8-1,2 мм)	по табл. 2	
Рабочая обменная ёмкость, г-экв/м <sup>3</sup>	по расчёту	
Скорость фильтрования воды, м/ч, при нормальном режиме при общей жёсткости воды, г-экв/м <sup>3</sup> :		
до 5	20	20
5-10	15	15
10-15	10	10
Потери напора в слое катионита, м,	по табл. 2	
Взрыхление катионита:		
интенсивность подачи воды, л/с·м <sup>2</sup> ,	по табл. 2	
продолжительность промывки, мин	по табл. 2	
Регенерация катионита:		
Удельный расход серной кислоты, г/г-эке	по рис.4	
Концентрация регенерационного раствора, %, при загрузке:		
сульфоуглем	1-1,5	1-1,5
катионитом КУ-2	нарастающей концентрацией 1 → 3 → 6	
скорость фильтрования регенерационного раствора, м/ч	не менее 10	
продолжительность обработки, мин	25-40	25-40
Отмывка катионита:		
скорость пропуска отмывочной воды через катионит, м/ч	не менее 10	
удельный расход отмывочной воды, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> , катионита при загрузке фильтра:		
сульфоуглем	5	—
катионитом КУ-2	6,5	—

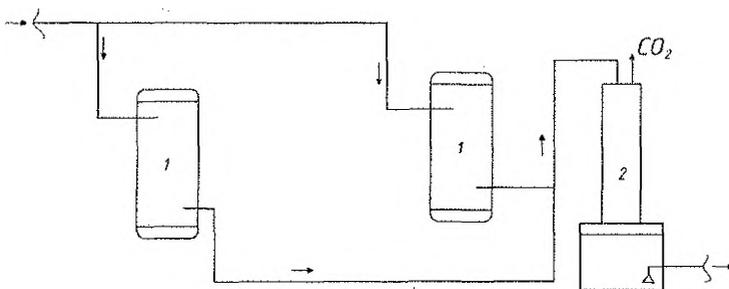
Примечание: 1. Отмывка катионита заканчивается при кислотности фильтрата, равной сумме хлоридов и сульфатов в воде, поступающей на отмывку.

2. Первую половину отмывочной воды следует направлять на нейтрализацию, вторую половину — в баки для взрыхления катионита.

3. Для отмывки обычных H-катионитовых фильтров используется осветлённая вода, противоточных фильтров — H-катионированная вода.



1 – H-катионитовый фильтр; 2 – дегазатор; 3 – Na-катионитовый фильтр  
 Рисунок 3в – Схема установки последовательного H- Na-катионирования



1 – H-катионитовый фильтр; 2 – дегазатор; 3 – Na-катионитовый фильтр  
 Рисунок 3г – Схема параллельного H-Na-катионирования

## II.1. РАСЧЕТ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО H-Na-КАТИОНИРОВАНИЯ

### РАСЧЕТ H-ИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ H-Na КАТИОНИРОВАНИИ

1) Расход воды, подаваемой на H-катионитовые фильтры:

$$q_{\text{пол}}^H = q_{\text{пол}} \cdot \frac{\text{Щ}_{\text{исх.}} - \text{Щ}_{\text{ум.}}}{A + \text{III}_{\text{исх.}}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $q_{\text{пол}}$  – полезная производительность H-Na-ионитовых фильтров,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $\text{Щ}_{\text{исх.}}$ ,  $\text{Щ}_{\text{ум.}}$  – соответственно исходная и требуемая щёлочность, г-экв/м<sup>3</sup>;  
 $A$  – суммарное содержание в умягчённой воде анионов сильных кислот, г-экв/м<sup>3</sup>:

$$A = \sum [SO_4^{2-} + Cl + NO_3]$$

2) Рабочая обменная ёмкость H-катионита:

$$E_{\text{роб}}^H = \alpha_H \cdot E_{\text{полн}} - 0,5 \cdot q_{\text{уд}} \cdot C_H, \text{ г-экв/м}^3,$$

где  $\alpha_H$  – коэффициент эффективности регенерации H-катионита (табл.4 приложение 7[1], табл.15.37[5]), зависящий от удельного расхода  $H_2SO_4$ ,  $\alpha_H = 100$  г/г-экв. Величину  $\alpha_H$  принимают по таблице 7;

$C_k$  – общее содержание в воде катионов  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ , г-экв/м<sup>3</sup>.

$E_{полн}$  – паспортная полная обменная ёмкость катионита в нейтральной среде, г-экв/м<sup>3</sup> (табл. 2, 6);

$q_{уд}$  – удельный расход на отмывку катионитов после регенерации, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>:  
 $q_{уд} = 5$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> – для сульфоугля,  $q_{уд} = 6,5$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> – для КУ-2 (табл. 6).

Таблица 7.

$a_n$	50	100	150	200
$c_n$	0,68	0,85	0,91	0,92

3) Необходимый объём катионита:

$$W_H = 24 \cdot q_{полн}^H \cdot \frac{Ж_{о.ум.} + C_{Na}}{n_p \cdot E_{раб.}^H}, \text{ м}^3$$

где  $Ж_{о.ум.}$  – общая жёсткость умягчённой воды, г-экв/м<sup>3</sup>, определяется по графику рис. 4;

$C_{Na}$  – концентрация в воде натрия, г-экв/м<sup>3</sup>;

$n_p$  – число регенераций каждого фильтра в сутки (1÷3);

$H_k$  – высота слоя катионита в фильтре, м,  $H_k = 2,5; 2,0$  м (табл. 6).



1 – 5 г-экв/м<sup>3</sup>; 2– 7 г-экв/м<sup>3</sup>; 3– 10 г-экв/м<sup>3</sup>; 4– 15 г-экв/м<sup>3</sup>; 5– 20 г-экв/м<sup>3</sup>.

Рисунок 4 – График для определения общей жёсткости воды, умягчённой водород-катионированием при различном солесодержании исходной воды:

4) Суммарная площадь фильтров:

$$F_H = \frac{W_H}{H_k}, \text{ м}^2.$$

5) По значению  $F_H$  по таблице 5 подбирают диаметры фильтров  $D$ , их количество  $n_f$ , площадь каждого  $F$  с проверкой условия:  $W_{общ.} > W_{кап.}$  и проверкой рекомендуемой скорости фильтрования  $v_f = 10 \div 20$  м/ч (табл. 6, см. расчёт  $Na$ -катионитовой установки).

### РАСЧЁТ $Na$ -КАТИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ $H$ - $Na$ КАТИОНИРОВАНИИ

1) Расход воды, подаваемой на  $Na$ -катионитовые фильтры:

$$q_{пол}^{Na} = q_{пол}^H - q_{пол}^H, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $q_{пол}^H$ ,  $q_{пол}^{Na}$  – полезная производительность, соответственно,  $H$ - $Na$ -катионитовой установки и  $H$ -катионитовых фильтров, м<sup>3</sup>/ч.

2) Рабочая обменная ёмкость катионита:

$$E_{\text{раб}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{полн}} - 0,5 \cdot q_{\text{уд}} \cdot \mathcal{J}_{\text{Омск}}, \text{ г-экв/м}^3$$

где  $\alpha_{\text{Na}}$  – коэффициент эффективности регенерации Na-катионита; табл.3 при  $a_c = 200$  г/г-экв.

3) Необходимый объём катионита и их суммарная площадь:

$$W_{\text{Na}} = \frac{24 \cdot q_{\text{пол}}^{\text{Na}} \cdot \mathcal{J}_{\text{Оум}}}{n_p \cdot E_{\text{раб}}^{\text{Na}}}, \text{ м}^3; \quad F_{\text{Na}} = \frac{W_{\text{Na}}}{H_k}, \text{ м}^2,$$

где:  $n_p$  – число регенераций каждого фильтра;

$H_k$  – высота слоя катионита в Na-катионитовом фильтре, м;

$\mathcal{J}_{\text{Оум}}$  – требуемая жёсткость умягчённой воды, г-экв/м<sup>3</sup>.

Далее аналогично расчёту Na-катионирования по одноступенчатой схеме.

По значению  $F_{\text{Na}}$  (табл. 5) подбирают диаметр и количество Na-катионитовых рабочих фильтров, которых при круглосуточной работе должно быть не менее 2-х.

Количество резервных H-катионитовых фильтров принимают 1 – при количестве рабочих до 6; и 2 – при большем количестве.

Установку резервных Na-катионитовых фильтров не предусматривают, если есть возможность использовать в качестве резервных H-катионитовые фильтры.

4) Расход соли, кг (см. расчёт одноступенчатого Na-катионирования):

$$P_c = \frac{f_{\text{Na}} \cdot H_{\text{к.но}} \cdot E_{\text{раб}}^{\text{Na}} \cdot a_c}{1000}, \text{ кг}$$

5) Расход серной кислоты, кг, на одну регенерацию H-катионитового фильтра:

$$P_k = \frac{f_H \cdot H_{\text{к.н}} \cdot E_{\text{раб}}^{\text{H}} \cdot a_k}{1000}, \text{ кг},$$

где  $f_H$  – площадь одного фильтра, м<sup>2</sup>;

$a_k$  – удельный расход кислоты для регенерации катионита, г/г-экв:

$a_k = 100$  г/г-экв.

6) Расход воды на собственные нужды:

а) на приготовление 5÷8% раствора соли  $Q_{\text{соли}}$ , м<sup>3</sup>/сут (см. расчёт одноступенчатого Na-катионирования);

б) на приготовление 1÷1,5% раствора кислоты  $Q_{\text{к-ты}}$  (табл.6):

$$Q_{\text{к-ты}} = \frac{100 \cdot n_p \cdot n_H \cdot P_k}{1000 \cdot C_p \cdot \rho_p}, \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где  $P_k$  – расход 100%-ной серной кислоты на одну регенерацию H-катионитового фильтра, кг;

$C_p, \rho_p$  – концентрация, %, и плотность, т/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>), регенерационного раствора серной кислоты.

в) на взрыхление катионита  $Q_{\text{взр}}^{\text{Na}}$  и  $Q_{\text{взр}}^{\text{H}}$ :

$$Q_{\text{взр}}^{\text{H}} = 0,06 \cdot n_p \cdot n_H \cdot f_H \cdot \omega \cdot t_{\text{взр}}, \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где  $\omega$  – интенсивность взрыхления 4÷5 л/с·м<sup>2</sup> (табл. 2, 6);

$t_{\text{взр}}$  – продолжительность взрыхления, мин,  $t_{\text{взр}} = 20 + 30$  мин (табл. 2, 6).

г) на отмывку катионитовой загрузки  $Q_{отм.}^{Na}$ ,  $Q_{отм.}^H$ :

$$Q_{отм.}^H = n_p \cdot n_H \cdot f_H \cdot H_{к.Н} \cdot q_{уд.}, \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где  $q_{уд.}$  – удельный расход отмывочной воды,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ : при загрузке сульфогуплем –  $q_{уд.} = 5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , КУ-2 –  $q_{уд.} = 6,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$  (табл. 6);

$H_{к.Н}$  – высота загрузки в Н-катионитовых фильтрах, м.

Расход на собственные нужды:

$$Q_{с.н.} = Q_{свир.} + Q_{к-мш.} + Q_{впр.}^{Na} + Q_{впр.}^H + Q_{отм.}^{Na} + Q_{отм.}^H, \text{ м}^3/\text{сут}$$

Суммарный расход воды, подаваемой на катионитовые установки:

$$Q = Q_{розл.} + Q_{с.н.}, \text{ м}^3/\text{сут}$$

## II.2. РАСЧЁТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО Н-НА-КАТИОНИРОВАНИЯ

Расчёт Н-катионитовых фильтров (см. расчёт параллельной установки) ведут согласно предложенной схеме:

1) Расход воды:

$$q_H = q_{вод} \cdot \frac{III_{исх.} - III_{ум.}}{Ж_{к.} + K}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $K$  – кислотность, принимается в пределах  $0,3 - 1$  г-экв/м<sup>3</sup>.

2) Рабочая обменная ёмкость Н-катионита  $E_{роб.}^H$ , г-экв/м<sup>3</sup>.

3) Необходимый объём катионита:

$$W_H = \frac{24 \cdot q_H \cdot Ж_{с.ум.}}{n_p \cdot E_{роб.}^H}, \text{ м}^3$$

Далее расчёт ведётся аналогично Н-катионитовым фильтрам при параллельной схеме.

Расчёт Na-катионитовых фильтров ведётся аналогично одноступенчатой Na-катионитовой установке на полный расход.

Ниже приведён **общий расчёт расхода на собственные нужды (на примере Н-На-катионитовой водоумягчительной установки)**.

Суммарный расход воды,  $\text{м}^3/\text{сут}$ , подаваемой на катионитовые установки, составляет:

$$Q = Q_n + Q_{с.н.},$$

где  $Q_n$  – полезная производительность водоумягчительной установки,  $\text{м}^3/\text{сут}$ .

$Q_{с.н.}$  – расход воды на собственные нужды установки,  $\text{м}^3/\text{сут}$ :

$$Q_{с.н.} = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

где  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  – соответственно расход воды на взрыхление катионита, приготовление регенерационных растворов и отмывку катионитовой загрузки,  $\text{м}^3/\text{сут}$ .

В большинстве случаев для обслуживания установок используется осветленная неумягченная вода, за исключением установок с двухступенчатым катионированием, в которых отмывка фильтров II ступени производится умягченной водой после фильтров I ступени. В связи с этим, расчет последних осуществляется на производительность, равную (1,5-2,0)  $Q_n$ .

Если по технологии предусмотрено повторное использование отмывочной воды для взрыхления фильтров и приготовления регенерационного раствора, то расход воды на собственные нужды сокращается на  $Q_1$  и  $Q_2$ .

Расчет расхода на собственные нужды (на примере H-Na-катионитовой установки) производится следующим образом:

а) расход воды, м<sup>3</sup>/сут, на взрыхление катионита равен:

$$Q_1 = 0,06 \cdot \omega \cdot C \cdot t_{вз} \cdot n_p \cdot (n_{Na} \cdot f_1 + n_H \cdot f_2),$$

где  $\omega$  - интенсивность взрыхления, л/с·м<sup>2</sup>;

$t_{вз}$  - продолжительность взрыхления, мин.;

$n_p$  - число регенераций в сутки;

$n_{Na}, n_H$  - соответственно число Na- и H-катионитовых фильтров;

$f_1, f_2$  - площадь Na- и H-катионитовых фильтров, м<sup>2</sup>.

б) расход воды, м<sup>3</sup>/сут, на приготовление регенерационного раствора поваренной соли  $Q_{2,1}$  и серной кислоты  $Q_{2,2}$  равен:

- при «мокром» хранении соли:

$$Q_{2,1} = \frac{100 n_p n_{Na} f_1 H_k E_{рав}^{Na} \alpha_c}{10^6 \cdot C_p \cdot \rho_p} = \frac{100 n_p n_{Na} P_c}{10^3 C_p \rho_p},$$

- при «сухом» хранении соли и растворении в солерастворителе:

$$Q_{2,1} = Q_{2,1} + Q_{2,2} = n_p \cdot n_{Na} (0,001 \cdot P_c \cdot S + 0,06 f_c \cdot \omega \cdot t_c),$$

где  $Q_{2,1}$  - расход воды на растворение соли, м<sup>3</sup>/сут;

$Q_{2,2}$  - расход воды на промывку солерастворителя, м<sup>3</sup>/сут;

$P_c$  - расход воды на одну регенерацию Na-катионитового фильтра, кг;

$C_p$  и  $\rho_p$  - концентрация, % и плотность, т/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>), рабочего раствора соли;

$S$  - количество воды, л, на растворение 1 кг технической соли (10 л/кг);

$f_c$  - площадь солерастворителя, м<sup>2</sup>;

$\omega$  и  $t_c$  - интенсивность (обычно 5 л/с·м<sup>2</sup>) и продолжительность промывки солерастворителя (обычно 5 мин).

$$Q_{2,2} = \frac{100 n_H f_2 H_k E_{рав}^H \alpha_n}{10^6 C_p' \rho_p'} = \frac{100 n_p n_H P_k}{10^3 C_p' \rho_p'},$$

где  $P_k$  - расход 100%-ой серной кислоты на одну регенерацию H-катионитового фильтра, кг;

$C_p', \rho_p'$  - концентрация, % и плотность, т/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>), регенерационного раствора серной кислоты.

в) расход воды, м<sup>3</sup>/сут, на отмывку катионитовой загрузки равен:

$$Q_3 = q_{уд} \cdot n_p (n_{Na} \cdot f_1 \cdot H_{1к} + n_H \cdot f_2 \cdot H_{2к}),$$

где  $q_{уд}$  - удельный расход отмывочной воды, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> катионита;

$H_{1к}, H_{2к}$  - высота загрузки, м, в Na и H-катионитовых фильтрах соответственно.

При H-Na-катионитовом умягчении воды для удаления образующейся в процессе водообработки свободной углекислоты рекомендуется устройство пленочных дозаторов с кислотоупорной или деревянной хордовой насадками, работающих в условиях противотока воды и воздуха, нагнетаемого вентилятором.

### 3.2.1.2 РАСЧЕТ СОЛЕВОГО ХОЗЯЙСТВА (РЕГЕНЕРАЦИЯ НА-КАТИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ)

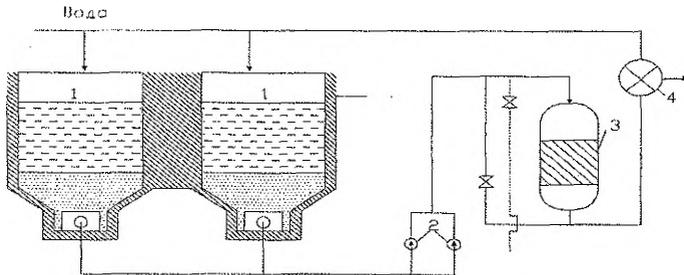
При производительности установок до  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$  с расходом соли на регенерацию менее  $0,5 \text{ т/сут}$  рекомендуется хранение соли в сухом виде в неотопляемых складах навалом высотой не более  $2 \text{ м}$ , ее растворение в проточных солерастворителях и доведение до требуемой концентрации раствора в рабочих баках.

По величине  $P_c$  (расход поваренной соли, кг, на одну регенерацию Na-катионитового фильтра) подбирают тип и число солерастворителей (табл. 8), при этом количество воды для растворения  $1 \text{ кг}$  соли принимают  $10 \text{ л}$ , а предельно допустимую скорость фильтрования раствора соли через гравийные соли солерастворителя —  $6 \text{ м/ч}$ .

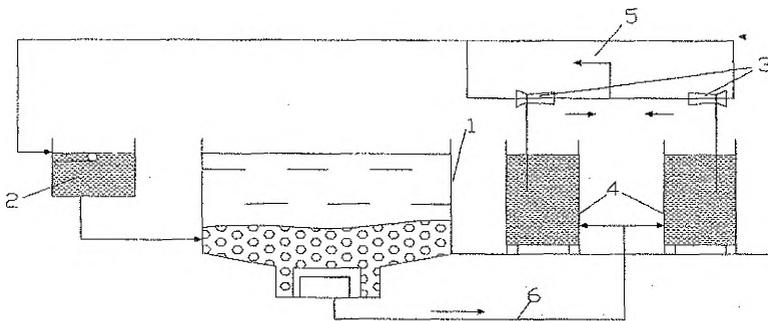
Таблица 8 – Параметры типовых солерастворителей

Диаметр, мм	Полезная емкость по соли, мм	Полная высота, мм	Высота корпуса, мм	Вес металла, кг	Нагрузочный вес, т	Рабочее давление, кгс/см <sup>2</sup>
470	100	1725	1185	370	0,7	8
670	240	1550	1025	420	1,0	6
1030	550	1880	1205	840	2,0	6

Технологические схемы солевого хозяйства могут быть выполнены с применением насосов для подачи регенерационного раствора соли на фильтр (рис.5) либо с устройством морных сосудов и подачей раствора соли эжекторами на фильтр (рис.6).



1 – баки-хранилища; 2 – насосы; 3 – осветлительный фильтр раствора; 4 – смеситель (расходный бак)  
Рисунок 5 – Схема мокрого хранения соли с подачей раствора центробежными насосами



1 – бак-хранилище; 2 – регулятор уровня; 3 – эжекторы; 4 – расходные баки насыщенного раствора соли; 5 – подача воды, смешанной с реагентом; 6 – подача раствора реагента в расходные баки

Рисунок 6 – Схема мокрого хранения соли с подачей раствора водяными эжекторами

Объем баков, м<sup>3</sup>, для мокрого хранения соли рассчитывают по формуле:

$$W_1 = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot \mathcal{K}_{\text{нск}} \cdot a_c \cdot m}{10000 \cdot \rho_n \cdot C_n}$$

где  $m$  – срок хранения запаса соли (обычно 20-40 суток);

$\rho_n$  – плотность раствора соли, г/см<sup>3</sup>;

$C_n$  – концентрация насыщенного раствора соли (обычно 20-25%).

Необходимый объем баков, м<sup>3</sup>, для разбавленного раствора соли составляет:

$$W_2 = \frac{P_c \cdot n_p \cdot n_{\phi}}{10 \cdot C_p \cdot \rho_p}$$

где  $P_c$  – расход поваренной соли на одну регенерацию, кг;

$n_p$  – число регенераций каждого фильтра в сутки;

$n_{\phi}$  – число фильтров, шт;

$C_p$  и  $\rho_p$  – концентрация, %, и плотность разбавленного раствора соли, г/см<sup>3</sup>.

Количество и габариты баков-хранилищ и баков для рабочего раствора соли выходят соответственно по величинам  $W_1$ , исходя из расчета 4-5 м<sup>3</sup> на хранение 1 т соли, а  $W_2$  из условия бесперебойной одновременной регенерации числа фильтров.

Фильтры для осветления насыщенного раствора соли следует рассчитывать по скорости фильтрования на пропуск расхода, м<sup>3</sup>/час:

$$q = \frac{v \cdot f \cdot C_p}{C_n}$$

где  $v$  – скорость фильтрования регенерационного раствора соли через Na-катионитовый фильтр (см. табл.2), м/ч;

$f$  – площадь катионитового фильтра, м<sup>2</sup>;

$C_n$  и  $C_p$  – концентрации насыщенного и разбавленного раствора соли соответственно, %.

Если схема мокрого хранения соли включает в себя: растворный бак соли; фильтр очистки раствора соли; резервуар-хранилище 25%-го раствора соли; баки рабочего раствора соли для регенерации Na-катионитовых фильтров (расходные баки), — то расчет солевого хозяйства выполняют в следующей последовательности (схема изображена в Приложении 2).

#### Расчет растворных баков.

Расход соли на регенерацию загрузки одного Na-катионитового фильтра:

$$P_c^* = \frac{F \cdot H \cdot E_{\text{р.об}} \cdot a_c}{1000}, \text{ кг,}$$

где  $F$  – площадь фильтра, м<sup>2</sup>;

$H$  – высота загрузки, м;

$E_{\text{р.об}}$  – рабочая обменная емкость Na-катионитового фильтра, г.экв/м<sup>3</sup>;

$a_c$  – удельный расход поваренной соли на регену, г/г-экв

$$P_c = P_c^* \cdot N_{\phi} / 1000, \text{ т}$$

$N_{\phi}$  – количество рабочих фильтров;

Суточный расход товарной соли (с содержанием безводного продукта в товарной соли  $v = 80\%$ ):

$$P_m = \frac{P_c \cdot 100}{v}, \text{ т/сут.,}$$

где  $P_c$  – расход соли на регенерацию загрузки на все рабочие Na-катионитовые фильтры, т.

Количество раствора 20-25% концентрации, получаемого при растворении:

$$W_{25\%} = \frac{P_m \cdot 100}{25 \cdot \gamma}, \text{ м}^3,$$

где  $\gamma \approx 1 \text{ т/м}^3$ .

Принимаем 2 растворных бака  $W_{\text{раств}} = \frac{W_{25\%}}{2}$ ,  $\text{м}^3$ ; каждый. Размеры при  $h=0,5-1 \text{ м}$ , прямоугольные в плане.

Расчет баков-хранилищ:

Принимаем баки-хранилища 25% раствора NaCl на продолжительность хранения 10 сут (20-40 сут).

$$W_{\text{храни}} = W_{25\%} \cdot 10, \text{ м}^3.$$

Принимаем 2 бака объемом  $\frac{W_{\text{храни}}}{2}$ ,  $\text{м}^3$ , прямоугольные в плане, размерами с  $h=1,5-2 \text{ м}$ .

Расчет расходных баков с концентрацией NaCl в раск:

- для Na-катионитовой I ступени – 5-8%;
- для Na-катионитовой II ступени – 8-12%.

$$W_{\text{раск}} = \frac{P_m \cdot 100}{24} \cdot \frac{T_{\text{xp}}}{b_{\text{раск}} \cdot \gamma}, \text{ м}^3,$$

где  $T_{\text{xp}}$  – период хранения раствора в расходном баке (3-часовое затворение), ч;  
 $\gamma \approx 1 \text{ т/м}^3$ .

Принимаем 2 бака объемом  $\frac{W_{\text{раск}}}{2}$ ,  $\text{м}^3$ , каждый прямоугольный в плане, размерами с  $h=0,5-1 \text{ м}$ .

Производительность насоса определяется исходя из скорости фильтрования регенерационного раствора через катионит 3-4 м/ч ( $v_{\text{ф}}$ ):

$$Q = v_{\text{ф}} \cdot F, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения фильтра,  $\text{м}^2$ .

### 3.2.1.3. РАСЧЕТ КИСЛОТНОГО ХОЗЯЙСТВА (РЕГЕНЕРАЦИЯ Н-КАТИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ)

В состав кислотного хозяйства (рис. 7.), 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).

Расход серной кислоты, кг, на одну регенерацию Н-катионитового фильтра определяют по формуле:

$$P_k = \frac{f \cdot H_k \cdot E''_{\text{роб}} \cdot a_n}{1000},$$

где  $f$  – площадь одного фильтра,  $\text{м}^2$ ;

$a_n$  – удельный расход кислоты для регенерации катионита, г/г-экв.

Объем цистерн-хранилищ,  $\text{м}^3$ , концентрированной серной кислоты рассчитывают следующим образом:

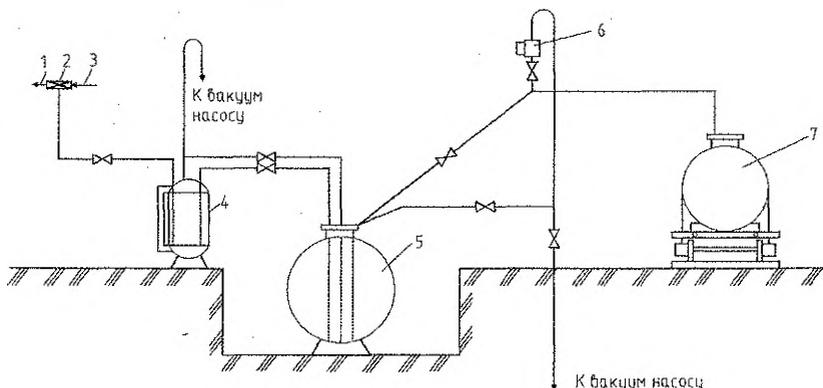
$$W_{\text{н}} = \frac{0,0024 \cdot q_{\text{пл}}^{\text{н}} \cdot Ж_{\text{с.исх}} \cdot a_{\text{н}} \cdot \tau}{\rho_k \cdot C_k},$$

где  $Ж_{\text{с.исх}}$  – общая жесткость исходной воды, г-экв/ $\text{м}^3$ ;

$\tau$  – срок хранения запаса кислоты (обычно 30 суток), сут.;

$\rho_k$  – плотность кислоты, г/ $\text{см}^3$ ;

$C_k$  – концентрация серной кислоты; принимается равной 90-92%.



1 – отвод разбавленного регенерационного раствора кислоты; 2 – эжектор; 3 – подача воды; 4 – мерный бак; 5,7 – стационарная и железнодорожная цистерны; 6 – прмежуточный бачок  
**Рисунок 7 – Схема кислотного хозяйства**

Полученное значение  $W_d$  округляется до величины, кратной емкости железнодорожной цистерны, в которой осуществляется доставка реагента на станцию водоподготовки. Количество и размеры цистерн-хранилищ определяют из расчета грузоподъемности ж/д цистерны, равной 50-60 т, что соответствует объему серной кислоты порядка 28-33 м<sup>3</sup> при ее плотности  $\approx 1,8$  г/см<sup>3</sup>.

Полезная емкость бака-мерника, м<sup>3</sup>, составляет:

$$W_{г.м.} = \frac{q_{плл} \cdot K_{о.мек} \cdot t \cdot a_n}{10000 \rho_n \cdot n_{ф} \cdot C_k} \quad \text{или} \quad W_{г.м.} = \frac{0,000075 \cdot f \cdot H_k \cdot E_{пол}^n \cdot a_n}{\rho_k \cdot C_k}$$

где  $t$  - продолжительность фильтроцикла, ч;

$n_{ф}$  - число рабочих фильтров, шт.;

$E_{пол}^n$  - паспортная полная обменная емкость катионита в нейтральной среде, г-жв/м<sup>3</sup>.

Объем баков для регенерационного раствора серной кислоты, если по схеме предусмотрено ее разбавление, определяют по формуле:

$$W_p = \frac{P_k}{10 \rho_k \cdot C_k}$$

где  $P_k$  - расход 100%-ной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на одну регенерацию, кг;

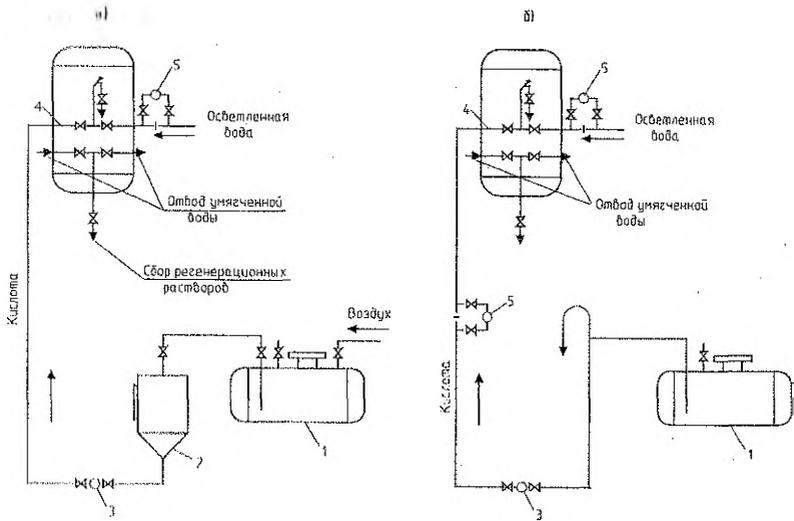
$\rho_p$  и  $C_p$  - плотность, г/м<sup>3</sup>, и концентрация, %, рабочего регенерационного раствора серной кислоты.

Если по расчету количество H-Na-катионитовых фильтров не более четырех, то объем бака  $W_p$  рекомендуется определять из условия регенерации одного фильтра, если более 4 - то двух фильтров.

В случае принятой подачи кислоты на фильтр насосом (рис. 8) производительность последнего можно определять по формуле:

$$q = \frac{v \cdot f \cdot C_p}{C_n}, \text{ м}^3 / \text{ч},$$

при этом  $v$  следует принимать 10-12 м/ч;  $C_n$  в зависимости от вида и сорта серной кислоты - 75-92 %;  $C_p = 1-1,5$  %.



а – из мерника; б – непосредственно из цистерны; 1 – цистерна для хранения кислоты; 2 – мерник; 3 – насос; 4 – H-катионитовый фильтр; 5 – расходомер; 6 – линия к вакуум-насосу  
**Рисунок 8 – Схема подачи концентрированной кислоты к H-катионитовым фильтрам насосом**

### 3.2.1.4. РАСЧЁТ ДЕГАЗАТОРА

Удаление из воды свободной углекислоты необходимо при умягчении воды H-катионированием, при ионитовом способе обессоливания воды и при её обезжелезивании аэрацией. Для этой цели применяют дегазаторы. Наиболее целесообразны плёночные дегазаторы, загруженные насадкой и оборудованные вентиляторами для принудительной подачи воздуха снизу, т.е. в направлении, встречном по отношению к движущейся сверху вниз воде.

Насадкой могут служить либо керамические кольца Рашига размером 25×25×3 мм (ГОСТ 748–67), либо деревянные хордовые насадки (бруски) размером 50×13 мм.

Таблица 9 – Содержание свободной углекислоты (в мг/л) в исходной воде.

Общая щёлочность воды Щ, мг-экв/л	Содержание свободной углекислоты CO <sub>2</sub> в воде при температуре 10°С, сопесодержании 200 мг/л и при значениях рН															
	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8
0,5	18	14	10	8	7	6	5	4	3	2	2	2	2	1	1	1
0,6	21	16	13	10	8	7	6	5	4	3	2	2	2	1	1	1
0,7	24	18	15	12	10	8	7	5	4	3	3	3	2	1	1	1
0,8	28	21	18	14	11	9	7	6	5	4	3	3	2	1	1	1
0,9	32	24	20	15	13	10	8	6	5	4	4	4	2	1	1	1
1	36	27	23	17	14	11	9	7	5	4	4	4	3	2	2	1
1,1	39	30	25	19	15	12	9	7	6	5	4	4	3	2	2	1
1,2	43	33	27	21	17	13	10	8	6	5	4	4	3	2	2	1

Продолжение таблицы 9

1,3	47	36	29	23	18	14	11	8	7	6	5	4	3	3	2	1	
1,4	50	39	31	24	19	15	12	9	8	6	5	4	3	3	2	2	
1,5	54	41	33	26	21	17	13	10	8	7	5	5	3	3	3	2	
1,6	58	44	36	28	22	18	14	11	9	7	5	5	4	3	3	2	
1,7	61	47	38	30	23	20	15	11	10	7	6	5	4	3	3	2	
1,8	64	50	40	31	25	21	16	12	11	8	6	5	4	3	3	2	
1,9	68	52	42	33	26	22	17	13	11	9	6	6	4	3	3	2	
2	72	55	44	35	28	23	18	14	12	10	7	6	5	4	3	2	
2,5	90	69	56	44	35	28	22	18	14	12	9	7	6	5	4	3	
3	108	83	67	53	42	34	27	22	17	14	11	8	7	6	5	3	
3,5	-	97	79	62	49	39	31	25	19	16	12	9	8	7	5	4	
4	-	-	111	80	71	56	45	35	28	22	18	14	11	10	8	6	5
4,5	-	-	-	100	79	63	50	40	32	25	21	16	12	11	9	7	5
5	-	-	-	-	88	70	56	44	36	28	23	18	14	12	10	9	6
5,5	-	-	-	-	97	77	62	48	39	31	25	19	15	13	11	9	6
6	-	-	-	-	106	85	68	53	43	33	27	21	17	14	12	9	7
6,5	-	-	-	-	92	74	57	46	36	29	23	18	15	12	10	8	
7	-	-	-	-	99	79	61	50	39	31	25	19	16	13	10	9	
7,5	-	-	-	-	106	85	66	54	42	33	26	21	17	14	11	10	
8	-	-	-	-	-	90	70	57	44	35	28	22	18	15	12	10	

В таблице 9 приведены данные о содержании свободной углекислоты CO<sub>2</sub> в воде. Если условия отличаются от принятых в табл. 9, то вводятся поправки на солесодержание β (табл. 10) и на температуру τ (табл.11).

Следовательно, фактическое содержание CO<sub>2</sub> в воде будет:

$$[CO_2]_{\text{факт}} = [CO_2]_{\text{табл}} \cdot \beta \cdot \tau.$$

Таблица 10 – Поправка β на солесодержание воды при определении CO<sub>2</sub>

Солесодержание, мг/л	100	200	300	400	500	750	1000
β	1,05	1	0,96	0,94	0,92	0,87	0,83

Таблица 11 – Поправка τ на температуру воды при определении CO<sub>2</sub>

Температура воды в °С	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60
τ	1,28	1,12	1	0,9	0,83	0,78	0,74	0,7	0,66	0,65

Содержание углекислоты в подаваемой на дегазатор воде определяют по формуле:

$$[CO_2]_{\text{г}} = [CO_2]_{\text{исх}} + 44 \cdot \text{Щ},$$

где [CO<sub>2</sub>]<sub>исх</sub> – содержание свободной углекислоты в исходной воде в зависимости от pH и от общей щёлочности, мг/л;

Щ – щёлочность исходной воды в мг-экв/л; Щ=0,8÷1,2 мг-экв/л.

Общее солесодержание в исходной воде до реагентной обработки:

$$[CO_2]_{\text{исх}} = [CO_2]_{\text{табл}} \cdot \beta \cdot \tau, \text{ мг/л}$$

Площадь поперечного сечения дегазатора:

$$F_{\text{дег}} = \frac{Q_{\text{исх}}}{P_0},$$

где P<sub>0</sub> – плотность орошения на 1 м<sup>2</sup> площади дегазатора в м<sup>3</sup>/ч, равная при насадке из колец Рашига 60 м<sup>3</sup>/ч и при деревянной хордовой насадке 40 м<sup>3</sup>/ч.

Таблица 11' - Высота слоя насадки в дегазаторе

Насадка	Высота слоя насадки $h_{нас.}$ , м, при содержании $CO_2$ в воде $[CO_2]_n$ , мг/л					
	50	100	150	200	250	300
Кольца Рашига	3	4	4,7	5,1	5,5	5,7
Хордовая из деревянных брусков	4	5,2	6	6,5	6,8	7

Высота слоя насадки в дегазаторе назначается по табл. 11' в зависимости от содержания  $CO_2$  и от типа насадки. По табл. 11' находят высоту слоя насадки  $h_{нас}$  в дегазаторе при содержании  $[CO_2]_n$ . Вентилятор дегазатора должен обеспечивать подачу удельного расхода воздуха  $20 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  воды, подаваемой в дегазатор. Необходимый напор, развиваемый вентилятором, определяется с учётом потери напора в насадке из колец Рашига  $h_{рас.}$ , которую принимают равной  $30 \text{ мм вод. ст.}$  на  $1 \text{ м}$  высоты слоя насадки, а также величины прочих потерь напора  $h_{проч.}$ , составляющих  $30\pm 40 \text{ мм вод. ст.}$

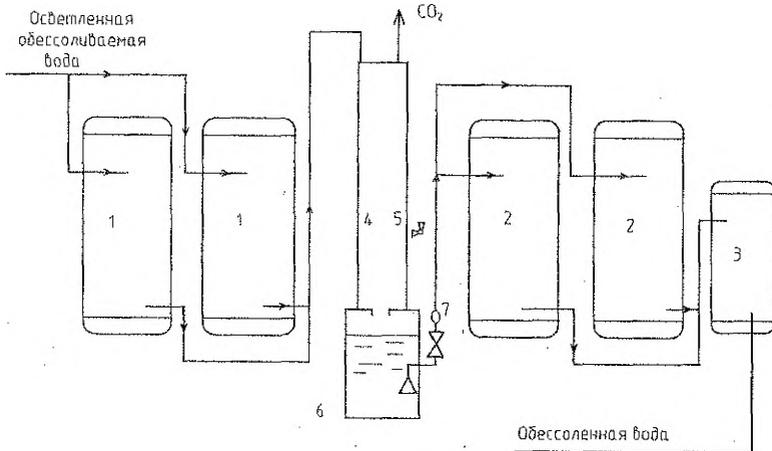
Суммарная потеря напора составляет:

$$\sum h = h_{нас.} + h_{рас.} + h_{проч.}$$

### 3.2.2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПО ГЛУБОКОМУ ОБЕССОЛИВАНИЮ

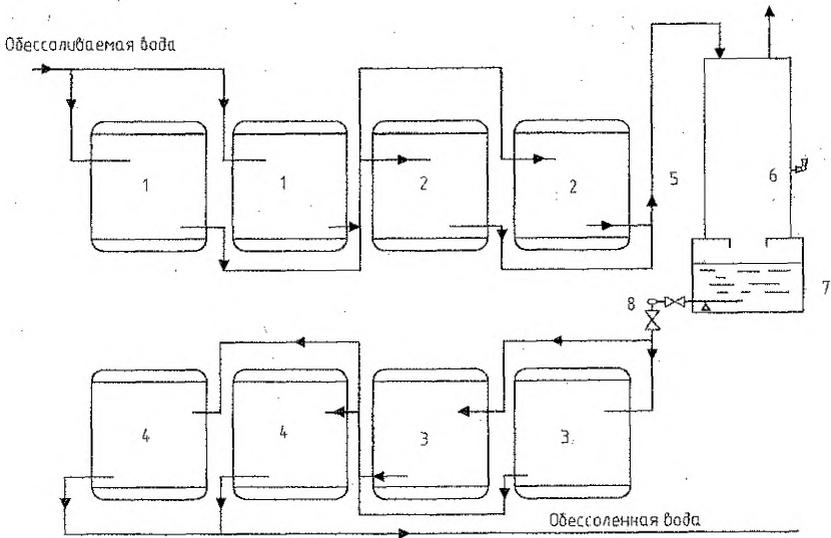
В зависимости от качества исходной воды (общего солесодержания  $P$ , суммы сульфатов и хлоридов, концентрации взвешенных веществ  $M$ , цветности  $C$ , перманганатной окисляемости  $PO$ ), а также от требований, предъявляемых к очищенной воде (по общему солесодержанию  $P_{обработ.}$ , содержанию кремниевой кислоты), различают одно-, двух- и трехступенчатые схемы ионитового обессоливания воды.

На рисунках 9, 10 показаны некоторые схемы установок для обессоливания воды.



1 - Н-катионитовые фильтры; 2 - анионитовые фильтры; 3 - буферный Na-катионитовый фильтр; 4 - дегазатор; 5 - вентилятор; 6 - промежуточный бак; 7 - насос

Рисунок 9 - Схема установки для обессоливания воды

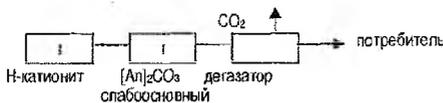


1 – Н-катионитовые фильтры; 2 – анионитовые фильтры первой ступени (со слабоосновным анионитом); 3 – Н-катионитовые фильтры второй ступени; 4 – анионитовые фильтры второй ступени (с сильноосновным анионитом); 5 – дегазатор; 6 – вентилиатор; 7 – бак для сбора частично обессоленной воды; 8 – насос

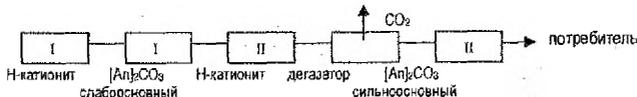
**Рисунок 10 – Схема установки для полного обессоливания воды с двухступенчатым катионированием и анионированием**

Условия применения различных схем обессоливания:  $P > 1500-2000 \text{ мг/л}$ ;  $\sum [Cl^- + SO_4^{2-}] < 5 \text{ мг-экв/л}$ ; взвешенные вещества до  $8 \text{ мг/л}$ ;  $\zeta$  до  $30 \text{ град}$ ; окисляемость ПО до  $7 \text{ мг } O_2/\text{л}$ .

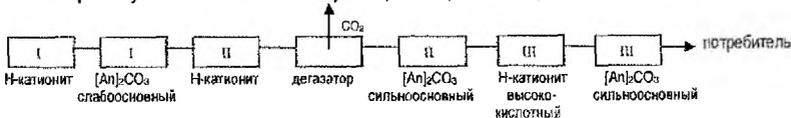
1. Одноступенчатая схема:  $P_{\text{обработ.}} < 20 \text{ мг/л}$ ;  $SiO_3^{2-}$  — не изменяется, так как слабоосновные аниониты не удаляют  $SiO_3^{2-}$ .



2. Двухступенчатая схема:  $P_{\text{обработ.}} < 0,5 \text{ мг/л}$ ;  $SiO_3^{2-} < 0,1 \text{ мг/л}$ .



3. Трехступенчатая схема:  $P_{\text{обработ.}} < 0,1 \text{ мг/л}$ ;  $SiO_3^{2-} < 0,02 \text{ мг/л}$ .



### 3.2.2.1. РАСЧЕТ ИОНООБМЕННЫХ ФИЛЬТРОВ. РАСЧЕТ РАСХОДОВ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ УСТАНОВКИ. РАСЧЕТ БАКОВ С ВОДОЙ ДЛЯ ВЗРЫХЛЕНИЯ СЛОЯ ИОНИТА

#### **I. РАСЧЕТ Н-КАТИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ**

Расчет Н-катионитовых фильтров I и II ступени производится по данным табл. 12 аналогично, как и для водоумягчительных установок.

##### I ступень

1)  $E_{\text{роб.}} = \alpha_n \cdot E_{\text{пол.}} - 0,5 q_{\text{уд.}} \cdot C_k$ , г-экв/м<sup>3</sup> — рабочая обменная емкость Н-катионита,

где  $\alpha_n$  — коэффициент эффективности регенерации, табл. 7 (по удельному расходу кислоты:  $a_k=150$  г/г-экв,  $\alpha_n=0,91$ );

$E_{\text{пол.}}$  — паспортная полная обменная емкость катионита в нейтральной среде, г-экв/м<sup>3</sup> (табл. 12): сульфурголь  $E=500$ ; кат. КУ-2  $E=1500-1700$ ;

$q_{\text{уд.}}$  — удельный расход воды на отмывку катионита после регенерации, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>:  
 $q_{\text{уд. сульф.}} = 5$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $q_{\text{уд. КУ-2}} = 6,5$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$C_k$  — общее содержание в воде катионитов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , г-экв/м<sup>3</sup>;

$$2) W_{\text{III}} = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{сут.}} \cdot C_k}{n_p \cdot E_{\text{роб.}}} \text{ — объем катионита, м}^3,$$

где  $\alpha$  — коэффициент для учета расхода воды на собственные нужды установки (обычно 1,05-1,35);

$Q_{\text{сут.}}$  — полезный расход обессоленной воды, м<sup>3</sup>/сут;

$n_p$  — число регенераций каждого фильтра в сутки;

3) задаемся  $H_{\text{загр.}}$ :  $H_k \approx 2,5$ ; 2,0 м.

По величинам  $W_n$  и  $H_k$  определяют габариты и число устанавливаемых катионитовых фильтров.

$$4) F = \frac{W_{\text{н.1}}}{H};$$

5) количество фильтров, F, D, количество рабочих и резервных фильтров — по аналогии, как и для водоумягчительных установок;

6) проверяют выполнение условия по объему и скорости фильтрования:

$$W_{\text{общ.}} > W_{\text{н.1}}, V_{\text{ф.}} = 10-25 \text{ м/ч (табл. 12).}$$

##### II ступень

$$1) E_{\text{роб.}} = \alpha_n \cdot E_{\text{пол.}} - 0,5 q_{\text{уд.}} \cdot C_{\text{Na}}, \text{ г-экв/м}^3;$$

$\alpha_n=0,85$  при  $a_k=100$  г/г-экв;

$q_{\text{уд.}}=10$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> — отмывка водой после анионитовых фильтров I ступени (табл. 12);

$C_{\text{Na}}$  — содержание натрия в воде, поступающей на Н-катионитовые фильтры II ступени, г-экв/м<sup>3</sup>, (50%  $C_{\text{Na}}$  начальное).

Воду от отмывки катионитовых фильтров II ступени следует использовать для взрыхления Н-катионитовых фильтров I ступени и приготовления для них регенерационного раствора.

$$2) W_{\text{III}} = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{сут.}} \cdot C_{\text{Na}}}{n_p \cdot E_{\text{роб.}}};$$

$$n_p = \frac{T}{t + t}; \quad \begin{array}{l} t = \text{до } 100 \text{ ч;} \\ t = 2,5\text{-}3 \text{ ч;} \end{array}$$

3)  $H_{\text{звср}} = 1,5 \text{ м};$

4)  $F = \frac{W_{\text{вн}}}{H_{\text{звср}}};$

5) количество фильтров, F, D, количество рабочих и резервных фильтров.

6)  $W_{\text{общ.}} > W_{\text{нп}}, V_{\text{ф}} = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$

III ступень принимается без расчета, равнозначно фильтрам II ступени.

Расчет расходов на собственные нужды Н-катионитовых фильтров, расчет баков с водой для взрыхления слоя ионита производится аналогично, как и для Н-катионитовых фильтров водоумягчительной установки (см. п. 3.2.1.1., II.).

Таблица 12 – Технологические характеристики Н-катионитовых фильтров

Показатель	Н-катионитовый фильтр	
	I ступени	II ступени
Высота слоя катионита, м	2,5	1,5
Полная обменная емкость по паспортным данным, г-экв/м <sup>3</sup> либо при их отсутствии при загрузке фильтра:		
сульфоуглем	500	
катионитом КУ - 2	1500-1700	
Рабочая обменная емкость, г-экв/м <sup>3</sup>	по расчету	
Скорость фильтрования, м/ч	10-25	до 50
Взрыхление катионита:		
интенсивность подачи воды, л/с·м <sup>2</sup>	4-5	8-10
продолжительность промывки, мин	20-30	20-30
Регенерация катионита:		
удельный расход серной кислоты, г-г/экв	по рис. 4	100
скорость фильтрования, м/ч	не менее 10	не менее 10
концентрация регенерационного раствора, %		
при загрузке сульфоуглем	1-1,5	1-1,5
при загрузке катионитом КУ - 2	1-3	3-6
Отмывка катионита:		
удельный расход отмывочной воды, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> катионита	5-6	6-10
продолжительность отмывки, мин	30-60	
продолжительность регенерации и отмывки, ч		2,5-3

Примечания: 1. Отмывку фильтров II ступени следует производить водой, прошедшей через анионитовые фильтры I ступени.

2. Воду от отмывки катионитовых фильтров II ступени следует использовать для взрыхления Н-катионитовых фильтров I ступени и приготовления для них регенерационного раствора.

## II. РАСЧЕТ АНИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ

При проектировании анионитовых фильтров I ступени, используя данные табл. 13, определяют их суммарную площадь, объем и высоту слоя анионита, количество и типоразмер серийно выпускаемых фильтров (табл. 14).

Таблица 13 – Технологические параметры анионитовых фильтров

Показатель	Анионитовый фильтр	
	I ступени	II ступени
Анионит:		
тип	слабоос- новной	сильноос- новной
крупность зерен, мм	0,3-2,0	0,3-2,0
Рабочая обменная емкость по паспортным данным, г-экв/м <sup>3</sup> , либо при их отсутствии при загрузке фильтра:		
АН-31, АВ-17	600-700	
Кремнеемкость сильноосновного анионита по паспортным дан- ным, г-экв/м <sup>3</sup> , либо при их отсутствии (для АВ-17) при истощении анионита до "проскока" в фильтрат SiO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , мг/л:		
0,1		420
0,5		530
1,0		560
Скорость фильтрования, м/ч:	4-30	15-25
Взрыхление анионита:		
интенсивность подачи воды, л/с·м <sup>2</sup>	3	3
продолжительность, мин	15-20	15-20
Регенерация анионита:		
удельный расход кальцинированной соды, г-г/экв поглощенных ионов	100	-
удельный расход 100%-го едкого натра, кг/1м <sup>3</sup> (г-г/экв) анионита		120-140 (60-70)
концентрация регенерационного раствора, %	4	4
скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч	4	4
продолжительность регенерации, ч	1,5	1,5
количество регенераций каждого фильтра в сутки	1-2	1-2
Отмывка анионита:		
удельный расход отмывочной воды, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> анионита	10	8
продолжительность отмывки, ч	3-3,5	
Общая продолжительность регенерации, ч	4,5-5	2,5-3

Примечания: 1. Для приготовления регенерационных растворов соды; едкого натра и отмывки анионитовых фильтров I ступени следует использовать водород-катионитовую воду.

2. Количество рабочих фильтров следует принимать не менее 3, резервных — 1.

### I ступень

1) загружен слабоосновным анионитом АН-31, АВ-17 ( $E_{\text{раб}} = 600-700$  г-экв/м<sup>3</sup>).

2) Необходимый объем  $W_{\text{Ат}} = \frac{Q_{\text{сум}} \cdot C_0}{n_p \cdot E_{p,1}}, \text{ м}^3$ ;

где  $C_0$  – суммарное содержание сульфатных, хлоридных и нитратных ионов в исходной воде, г-экв/м<sup>3</sup>;

$n_p$  – число регенераций анионитовых фильтров,  $n_p=1-2$ ;

$Q_{\text{сум}}$  – полезная производительность анионитовых фильтров, м<sup>3</sup>/сут;

$E_{p,1}$  – рабочая обменная ёмкость анионита, г-экв/м<sup>3</sup>.

3) Площадь фильтрования  $F_{\text{Ат}} = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{сум}}}{n_p \cdot T \cdot v_1}, \text{ м}^2$ ;

где  $\alpha$  – коэффициент для учета расхода воды на собственные нужды последующих ступеней установки (1,02-1,2);

$v_1$  – расчетная скорость фильтрования, м/ч,  $v_1=4-30$  м/ч;

$T$  – продолжительность работы каждого фильтра между регенерациями, ч.

$$T = \frac{24}{n_p} - \tau_p$$

$\tau_p$  – общая продолжительность регенерации анионита, ч (включая его взрыхление, обработку регенерирующим раствором и отмывку):

$$\tau_p = t_{\text{взр.}} + t_{\text{рег.}} + t_{\text{отм.}} = 15 \text{ мин (0,25 ч)} + 1,5 \text{ ч} + 3,25 \text{ ч} = 5 \text{ ч};$$

$$q_{\text{уд}} = 10 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

4) по  $W_{\text{AI}}$  и  $F_{\text{AI}}$  и высоте слоя анионита (H) 2,0 м или 1,8 м рассчитывается количество фильтров и типоразмер серийно выпускаемых фильтров (табл. 14);

5) проверяется количество рабочих фильтров (не менее 3), резервных — 1, условия  $F_{\text{общ.}} > F_{\text{AI}}$ ,  $W_{\text{общ.}} > W_{\text{AI}}$  при выполнении скорости  $v_{\text{ф}} = Q/F = 4-30 \text{ м/ч}$ ;

6) регенерация производится 4%-ным раствором соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  при удельном расходе  $a_{\text{соды уд.}} = 100 \text{ г/г-экв.}$

## II ступень

1) загружен сильноосновным анионитом. Величина рабочей обменной емкости:

$$E_{p,II} = E_{\text{кр.}} - 0,5 \cdot q \cdot C_{\text{SiO}_3^{2-}}, \text{ г-экв/м}^3,$$

где  $E_{\text{кр}}$  – рабочая кремнеёмкость анионита, г-экв/м<sup>3</sup>. Для АВ-17 при истощении анионита до «проскока» в фильтрат  $\text{SiO}_3^{2-}$ , мг/л: 0,1-420

0,5-530

1,0-560

$q$  – удельный расход воды, м<sup>3</sup>, на промывку 1 м<sup>3</sup> анионитовой загрузки;

$q = 8 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;

$C_{\text{SiO}_3^{2-}}$  – содержание  $\text{SiO}_3^{2-}$  в исходной воде, г-экв/м<sup>3</sup>.

$$2) \text{ Объём анионитовой загрузки: } W_{\text{AI}} = \frac{Q_{\text{сум}} \cdot C_{\text{SiO}_3^{2-}}}{n_p \cdot E_{p,II}}, \text{ м}^3$$

$n_p = 1$ ;

$$3) \text{ Суммарная площадь: } F_{\text{AI}} = \frac{W_{\text{AI}}}{H_{\text{зар.}}}, \text{ м}^2$$

$H_{\text{зар.}} = 1,8$  или  $1,5 \text{ м}$ ,  $v_{\text{ф}} = 15-25 \text{ м/ч}$  (табл. 13, 14).

Количество рабочих фильтров принимается не менее 3, резервных — 1;

4) регенерацию анионита производят раствором едкого натра. Удельный расход 100%-го едкого натра, кг/1 м<sup>3</sup> (г/г-экв) анионита: 120-140 (60-70). Общая продолжительность регенерации  $\tau_p = 2,5-3,0 \text{ ч}$  (табл. 13).

## III ступень

Рассчитывается аналогично II ступени с учетом высоты загрузки  $H_{\text{зар.}} = 1,5 \text{ м}$ , выполнения скорости  $v_{\text{ф}} = 30 \text{ м/ч}$ . Регенерация производится едким натром.

Для обслуживания H-катионитовых и анионитовых фильтров обессоливающих установок предусматривается устройство кислотного и щелочного (содового) хозяйства.

Таблица 14 – Конструктивные и технические характеристики фильтров для обессоливания и опреснения воды

Марка, завод-изготовитель	Диаметр, мм	Площадь, м <sup>2</sup>	Высота		Объем		Масса		Примечание
			общая, мм	слоя анионита, м	фильтра общий, м <sup>3</sup>	ионитного слоя, м <sup>3</sup>	металла, т	нагрузочная, т	
ФИПа I-0,7-0,6, СЗТМ	700	0,38	3000	2,0	1,1	0,8	0,57	3	Фильтры ионитные I ступени
ФИПа I-1,0-0,6	1000	0,78	3124	2,0	2,3	1,6	1,03	5	
ФИПа I-1,0-0,6-Н, БикЗ	1000	0,78	3124	2,0	2,3	1,6	0,943	5	
ФИПа I-1,4-0,6-Н	1400	1,54	3600	2,0	4,5	3,42	1,4	13	
ФИПа I-1,4-0,6	1400	1,54	3600	2,0	4,5	3,42	1,4	13	
ФИПа I-2,0-0,6, ТКЗ	2000	3,14	4000	1,8	11,7	5,7	2,9	15	
ФИПа I-2,6-0,6	2600	5,3	4300	1,8	20	9,6	4,6	27	
ФИПа I-3,0-0,6	3000	7,1	4450	1,8	29	12,6	5,5	41	
ФИПа I-3,4-0,6	3400	9,1	4600	1,8	39	16,3	7,4	47	
ФИПа II-1,0-0,6Н, БикЗ	1000	0,78	2724	1,5	1,87	1,2	0,858	3,5	Фильтры ионитные II ступени
ФИПа II-1,0-0,6	1000	0,78	2724	1,5	1,87	1,2	0,91	3,5	
ФИПа II-1,4-0,6Н	1400	1,54	2985	1,5	3,58	2,66	1,59	7	
ФИПа II-1,4-0,6	1400	1,54	2985	1,5	3,58	2,66	1,59	7	
ФИПа II-2,0-0,6, ТКЗ	2000	3,14	3235	1,5	7,6	3,8	2,51	13,1	
ФИПа II-2,6-0,6	2600	5,3	3501	1,5	13,6	6,9	4,2	20	
ФИПа II-3,0-0,6	3000	7,1	3775	1,5	17,0	9,4	5,6	30	
ФИПа II-2,0-0,6, ТКЗ	2000	3,14	6505	3,7+0,4	19	18,3	3,92	24	
ФИПа II-2,6-0,6	2600	5,3	6775	3,7+0,4	33	19,6	6,02	42	

### 3.2.2.2. РАСЧЕТ КИСЛОТНОГО ХОЗЯЙСТВА (РЕГЕНЕРАЦИЯ Н-КАТИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ)

Элементы кислотного хозяйства рассчитываются согласно методике, рассмотренной в п. 3.2.1.3., при этом вместо значения  $J_{0, \text{мкх}}$  в формулах необходимо подставить значение  $C_k$  — суммарное содержание катионов в исходной воде.

### 3.2.2.3. РАСЧЕТ РЕАГЕНТНОГО ХОЗЯЙСТВА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ АНИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Для анионитовых фильтров в составе I ступенчатой схемы обессоливания рекомендуется использовать в качестве реагента для регенерации кальцинированную соду, гидрокарбонат натрия или гидроксид натрия, а для фильтров в составе двухступенчатой схемы обессоливания возможно использование одного гидроксида натрия.

В составе трехступенчатой технологической схемы обессоливания возможно проектирование фильтров смешанного действия.

Расчет расходов на собственные нужды установки по обессоливанию — аналогично, как для установок по глубокому умягчению.

Расход соды или щелочи на регенерацию одного фильтра:

$$P_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{F \cdot H \cdot E_{\text{раб}}^{\text{AnI}} \cdot a_c}{1000}, \text{ кг};$$

$$P_{\text{NaOH}} = \frac{F \cdot H \cdot E_{\text{раб}}^{\text{AnII}} \cdot a_{\text{щ}}}{1000}, \text{ кг};$$

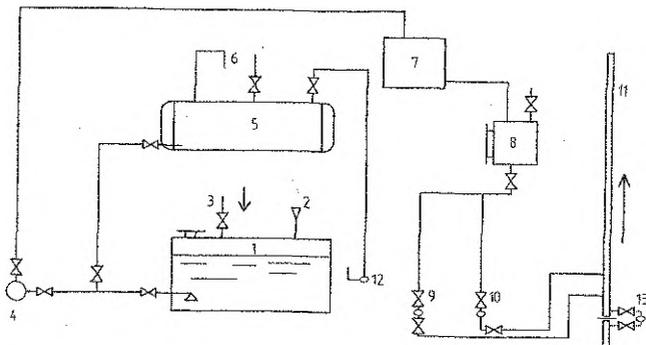
где  $F$  — площадь фильтра, м<sup>2</sup>;

$H$  — высота загрузки, м;

$E_{\text{раб}}$  — рабочая обменная емкость, г-экв/м<sup>3</sup>;

$a_c, a_{\text{щ}}$  — удельный расход соответственно соды и щелочи, г/г-экв.

В состав щелочного хозяйства входят: бак для растворения твердого гидроксида натрия или для приема раствора из контейнеров; цистерна для хранения запаса концентрированного раствора гидроксида натрия; расходный бак раствора NaOH; мерник; насосное оборудование (рис 11).



1 — бак для растворения твердого едкого натра и для приема раствора едкого натра из контейнеров; 2 — воронка для слива раствора едкого натра из контейнеров; 3 — подвод воды для растворения едкого натра; 4 — насос; 5 — цистерна для хранения запаса концентрированного раствора едкого натра; 6 — сифон для заполнения цистерны; 7 — расходный бак раствора едкого натра; 8 — мерник; 9 — насос; 10 — насос-дозатор; 11 — трубопровод с водой, в котором образуется раствор едкого натра; 12 — вакуум-насос; 13 — расходомер

Рисунок 11 — Схема щелочного хозяйства

Объем растворного бака и цистерны-хранилища, м<sup>3</sup>, концентрированного раствора гидроксида натрия определяют по формуле:

$$W_{б.ц.} = \frac{0,0024qAa_{ц}m}{\rho_{щ}C}$$

где  $q$  – расход обессоливаемой воды с учетом расхода на собственные нужды установки, м<sup>3</sup>/ч;

$A$  – суммарная концентрация анионов, задерживаемых анионитом, г-экв/м<sup>3</sup>;

$a_{ц}$  – удельный расход 100%-го NaOH на регенерацию анионита, г/г-экв;

$t$  – срок хранения запаса раствора NaOH (для бака  $t$  принимают равным 1-2);

$\rho_{щ}$  – плотность раствора NaOH, т/м<sup>3</sup>;

$C$  – концентрация раствора реагента, %.

Значения  $a_{ц}$ ,  $t$ ,  $\rho_{щ}$  и  $C$  приведены в таблице 15.

Количество и размеры цистерн-хранилищ определяют из расчета грузоподъемности ж/д цистерны, равной 50-60 т, что соответствует объему жидкого гидроксида порядка 34-40 м<sup>3</sup> при его плотности 1,45 т/м<sup>3</sup>. Количество баков – не менее двух.

Объем расходного бака, м<sup>3</sup>:

$$W = \frac{W_{б.ц.} \cdot n \cdot \epsilon_p}{24 \cdot m \cdot \epsilon}$$

где  $n$  – число часов, затрачиваемое на цикл приготовления реагента (обычно от 10 до 24 часов);

$\epsilon_p$ ,  $\epsilon$  – концентрация раствора в растворном и расходном баке, %; определяется, если по схеме предусматривается разбавление раствора.

Полезная емкость бака-мерника, м<sup>3</sup>, составляет:

$$W_{б.ц.} = \frac{q \cdot A \cdot t \cdot a_{ц}}{10^4 \cdot \rho_{щ} \cdot C \cdot n_p}$$

где  $t$  – продолжительность работы фильтра между регенерациями, ч;

$n_p$  – число рабочих анионитовых фильтров.

Определяются количество и размеры баков.

Таблица 15

Реагент для регенерации анионитов/катионитов	$a_{ц}$ , г/г-экв	$t$ , сут	$C$ , %	$\rho_{щ}$ , т/м <sup>3</sup>
Едкий натрий (гидроксид натрия) NaOH	60-70	20-40	42	1.45
Кальцинированная сода Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	110-120	20-40	95	0.95
Бикарбонат натрия NaHCO <sub>3</sub>	150-170	20-40	98	0.95

В случае, когда регенерацию анионитовых фильтров производят содой или бикарбонатом натрия, предусматривают устройство открытых растворных баков, располагаемых на высоте, обеспечивающей самотечную подачу регенерационных растворов на фильтры. Емкость баков рассчитывают на проведение одной или двух регенераций анионитовых фильтров. Для приготовления рабочих растворов используют частично обессоленную или умягченную подогретую воду.

Суточный расход товарной соды (с содержанием безводного продукта  $C=80-95\%$ ):

$$P_m = \frac{P_{Na_2CO_3} \cdot N_{ан}}{1000 \cdot C}, \text{ т/сут};$$

где  $N$  – количество рабочих фильтров.

Объем растворного бака (приготовление 8-12 %-го раствора):

$$W_p = \frac{P_m \cdot 100}{(8 \pm 10) \cdot \rho_{\text{ра}}}, \text{м}^3$$

Полученный суточный объем на количество растворных баков (не менее двух) и определяем их размеры в плане (при высоте  $h=0,5-2$  м).

Если в схеме предусматриваются баки-хранилища, их объем:

$$W_{\text{хр}} = \frac{P_m \cdot 1000}{(8 \pm 10) \cdot \rho_{\text{ра}}}, \text{м}^3;$$

где  $m, \rho_{\text{ра}}$  – см. таблицу 15.

Принимаются два бака-хранилища соды.

Объем расходного бака соды (приготовления 4%-го раствора):

$$W = \frac{P_m}{24 \cdot \rho_{\text{ра}}} \cdot \frac{100}{\epsilon} \cdot T, \text{м}^3;$$

где  $T$  – период затворения, ч;  $T=3$  ч; принимаются два бака.

В случае принятой подачи щелочного раствора на фильтр насосом производительность последнего:

$$q = \frac{\vartheta \cdot f \cdot C_p}{C_n}$$

где  $\vartheta$  следует принимать 10-12 м/ч;

$C_n$  и  $C_p$  – концентрации насыщенного и разбавленного раствора щелочи соответственно, %;  $C_p=4\%$ .

### 3.2.2.4. РАСЧЁТ ДЕГАЗАТОРА

См. расчёт в п. 3.2.1.4.

## 3.2.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ СООРУЖЕНИЙ ПО ОСВЕЩЕНИЮ, ОБЕСЦВЕЧИВАНИЮ И УМЯГЧЕНИЮ РЕАГЕНТНЫМ МЕТОДОМ

### 3.2.3.1. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ ГИПОТЕТИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ

Для того чтобы установить, какая жёсткость преобладает в воде, строятся диаграммы гипотетического состояния воды. В верхней части откладываются в масштабе концентрации содержащихся в воде катионов по мере возрастания их щёлочности. В нижней части — концентрации содержащихся в воде анионов по мере возрастания их кислотности.

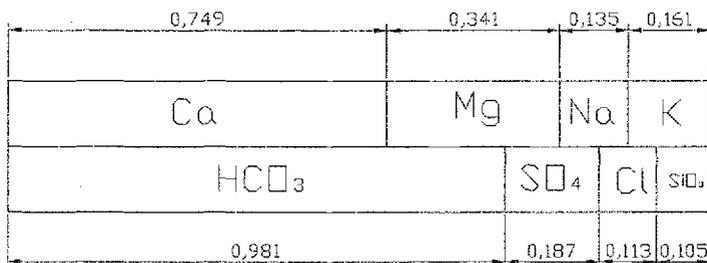


Рисунок 12 – Пример диаграммы гипотетического состава воды

$$Ca^{2+} = \frac{[Ca^{2+}]}{e_{Ca}} = \frac{[Ca^{2+}]}{20,04} \cdot \text{мг-экв/л};$$

$$e_{Mg} = 12,16; e_{HCO_3^-} = 61,02; e_{Cl^-} = 35,46; e_{Na} = 23; e_{SO_4^{2-}} = 48,03; e_{SiO_3^{2-}} = 38.$$

Если жёсткость в большей степени обусловлена карбонатной жёсткостью — выбирается известковый метод умягчения.

Для устранения карбонатной и некарбонатной жёсткости используется известково-содовый метод.

### 3.2.3.2. ВЫБОР РЕАГЕНТНОГО МЕТОДА УМЯГЧЕНИЯ

- известковый метод:

$$Ж_{ост} = 0,8 \div 1,0 \text{ мг-экв/л}; Ш_{ост} = 0,8 \div 1,2 \text{ мг-экв/л}.$$

$$а) \frac{Ca^{2+}}{20} > Ж_k: \text{доза извести } D_{из} = 28 \cdot \left( \frac{CO_2}{22} + Ж_k \pm \frac{D_k}{e_x} + 0,3 \right), \text{ мг/л};$$

$$б) \frac{Ca^{2+}}{20} < Ж_k: \text{доза извести } D_{из} = 28 \cdot \left( \frac{CO_2}{22} + 2 \cdot Ж_k - \frac{Ca^{2+}}{20} \pm \frac{D_k}{e_x} + 0,5 \right), \text{ мг/л}.$$

Доза коагулянта  $D_k$  по мутности (табл. 16 [1]), по цветности  $D_k = 4 \cdot \sqrt{Ц}$ , а также с

учётом взвеси, образующейся при умягчении  $C$ , мг/л:  $D_k = 3 \cdot \sqrt[3]{C}$ .

Окончательно принимается  $D_k$  большее значение, но не  $>35$  мг/л.

$$C = M_{из} + 50 \cdot \left( \frac{CO_2}{22} + 2 \cdot Ж_k \right) + 29 \cdot \frac{Mg^{2+}}{12} + D_{из} \cdot \frac{100 - m}{100},$$

где  $m$  — содержание CaO в торговой извести;  $m = 50 \div 60\%$ .

Коагулянт  $FeCl_3$  или  $FeSO_4$ ,  $D_k = 25 \div 35$  мг/л;  $e_{FeSO_4} = 67$ ;  $e_{FeCl_3} = 54$ .

Знак в  $D_{из}$ : «+» при вводе коагулянта после извести или совместно, «-» — до извести.

- известково-содовый метод:

$$Ж_{ост} = 0,5 \div 1,0 \text{ мг-экв/л}; Ш_{ост} = 0,8 \div 1,2 \text{ мг-экв/л};$$

$$D_{из} = 28 \cdot \left( \frac{CO_2}{22} + Ж_k + \frac{Mg^{2+}}{12} \pm \frac{D_k}{e_x} + 0,5 \right), \text{ мг/л};$$

$$D_{соды} = 53 \cdot \left( Ж_{из} \pm \frac{D_k}{e_x} + 1 \right), \text{ мг/л};$$

$$C = M_{из} + 50 \cdot \left( \frac{CO_2}{22} + Ж_{из} + Ж_{соды} + 0,5 \right) + 29 \cdot \frac{Mg^{2+}}{12} + D_{из} \cdot \frac{100 - m}{100}.$$

### 3.2.3.3. ВЫБОР СОСТАВА СООРУЖЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Выбор состава сооружений зависит от выполнения условий:

$$а) \frac{Ca^{2+}}{20} < Ж_k - \text{схема с осветлителем};$$

$$б) \frac{Ca^{2+}}{20} > Ж_k - \text{схема с вихревым реактором};$$

### 3.2.3.4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

1. *Схема установки для реагентного умягчения воды с осветлителями (для поверхностных источников).*

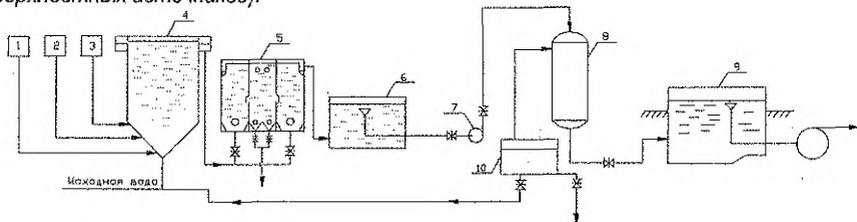


Рисунок 13 – Технологическая схема с осветлителем со слоем взвешенного осадка

- 1,2,3 – блоки приготовления извести, соды, коагулянта;
- 4 – вертикальный смеситель (камера хлопьеобразования);
- 5 – осветлитель со слоем взвешенного осадка коридорного типа;
- 6 – промежуточный бак (пребывание воды 2÷5 мин);
- 7 – насос;
- 8 – напорный фильтр;
- 9 – резервуар сбора умягченной воды;
- 10 – бак-отстойник промытых вод.

2. *Схема установки с вихревым реактором.*

Пример схемы с вихревым реактором приведен в Приложении 2 в технологической схеме водоподготовки.

Расчётные параметры выброса (вихревого реактора):

- ◆ продолжительность пребывания воды 15÷20 мин;
- ◆ угол конусности 20°;
- ◆ скорость входа 0,8±1,0 м/с;
- ◆ скорость выхода 4,0±6,0 м/с;
- ◆ вес контактной массы  $G=10 \cdot W$ , кг,  $W$  – объём вихревого реактора, м<sup>3</sup>.

### 3.2.3.5. РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ДЛЯ РЕАГЕНТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

#### РАСЧЕТ СМЕСИТЕЛЯ

1) верхняя часть квадратная в плане. Площадь верхней части  $f_0 = \frac{Q_{\text{всч}}}{v_0}, \text{м}^2$ ,

где  $v_0=90-100$  м/ч, сторона  $b_0 = \sqrt{f_0}, \text{м}$

2) трубопровод, подающий обрабатываемую воду в нижнюю часть смесителя со

скоростью входа  $v=1,0-1,5$  м/с, должен иметь внутренний диаметр  $d = \sqrt{\frac{4 \cdot f_0}{\pi \cdot v}}, \text{м}$

где  $q$  [м<sup>3</sup>/с]. Например,  $d=0,15$  м.

3) наружный диаметр  $d_n=0,159$  м, соответственно размер в плане нижней части смесителя в месте примыкания трубопровода должен быть  $0,159 \times 0,159$  м, а площадь нижней усеченной пирамиды  $f_n=0,159^2$  (д<sup>2</sup>) м<sup>2</sup>, со стороны  $b_n$ .

4) величина центрального угла — 40°, высота нижней (пирамидальной) части:

$$h_n = 0,5 \cdot (b_0 - b_n) \cdot ctg \frac{40^\circ}{2} = \frac{0,5 \cdot (b_0 - b_n)}{tg 20^\circ}, \text{м}$$

Объем пирамидальной части  $W_n = \frac{1}{3} \cdot h_n \cdot (f_n + f_n + \sqrt{f_n \cdot f_n}), \text{м}^3$

5) полный объем  $W = \frac{Q_{\text{рас}} \cdot t}{60}, \text{м}^3$ ,

где  $t$  – продолжительность смешения реагента с водой, мин. (менее 2 мин., например, 1,2-1,5 мин.).

6) объем верхней части  $W_e = W - W_n, \text{м}^3$

7) высота верхней части

$$h_e = \frac{W_e}{f_e}, \text{м} \quad (h_e \leq 1,5 \text{ м})$$

### РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЯ СО СЛОЕМ ВЗВЕШЕННОГО ОСАДКА

Особенности расчета при двух условиях:

а)  $\frac{M_R^{2+}}{12} < 25\% \text{ Ж}_{\text{общ}}$

б)  $\frac{M_R^{2+}}{12} > 25\% \text{ Ж}_{\text{общ}}$

1) восходящая скорость при а)  $v_a = 1,0 \text{ мм/с}$ ;

б)  $v_a = 0,8 \text{ мм/с}$ ;

2) в формуле площади коэффициента  $\alpha = 0,85$ ;

3) продолжительность времени уплотнения при а)  $T = 3-4 \text{ ч}$ ;

б)  $T = 5-6 \text{ ч}$ ;

4) средняя концентрация вещества в осадкоуплотнителе при а)  $\delta = 40000 \text{ г/м}^3$

б)  $\delta = 20000 \text{ г/м}^3$

5) скорость движения в опускных трубах  $0,7 \text{ м/с}$ .

Количество воды, теряемой при сбросе осадка из осадкоуплотнителя:

$$q_{\text{ос}} = \frac{K_p \cdot (C - m)}{\delta_{\text{сп}}} \cdot 100, \%$$

где  $K_p$  – коэффициент разбавления  $1,2-1,5$ ;

$C$  – максимальная концентрация взвешенных веществ,  $\text{мг/л}$ ;

$m$  – количество взвеси в воде, выходящей после отработки в осветителе  $8-12 \text{ мг/л}$ ;

$\delta_{\text{сп}}$  – средняя концентрация взвешенных веществ,  $\text{мг/л}$ ;

Общая площадь осветителя (осветитель состоит из двух боковых коридоров и осадкоуплотнителя):

$$F_{\text{осв}} = F_{3,0} + F_{3,0\text{т}} = \frac{K \cdot Q_{\text{расч}}}{3,6 \cdot v_{3,0}} + \frac{(1-K) \cdot Q_{\text{расч}}}{3,6 \cdot \alpha \cdot v_{3,0}}, \text{м}^2,$$

где  $F_{3,0} + F_{3,0\text{т}}$  – соответственно площадь зон осветления и отделения осадка,  $\text{м}^2$ ;

$Q_{\text{расч}}$  – расчетный расход,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$v_{3,0}$  – скорость восходящего потока,  $\text{мм/с}$ ;  $v_{3,0} = v_b$ ;

$K$  – коэффициент распределения воды,  $K = 0,7$ .

Количество осветителей  $N = 2$  (1 рабочий, 1 резервный).

Площадь одного рабочего не должна быть более  $100-150 \text{ м}^2$ .

Площадь одного из двух осветителя  $f_{\text{осв}} = \frac{F_{3,0}}{2}, \text{м}^2$

Площадь осадкоуплотнителя  $f_{o,y} = F_{3,om}, M^2$

При ширине коридора  $b_{кор}$  (например, 2,6 м) длина  $l_{кор} = \frac{f_{кор}}{b_{кор}}, M$

Ширина осадкоуплотнителя  $b_{o,y} = \frac{f_{o,y}}{l_{кор}}, M$



Рисунок 13а – План осветлителя со слоем взвешенного осадка

### РАСЧЕТ НАПОРНЫХ ФИЛЬТРОВ

$$\text{Площадь } F = \frac{Q_{сум}}{\gamma \cdot v_{р.н} - 3,6 \cdot n (w_1 \cdot t_1 + w_2 \cdot t_2 + w_3 \cdot t_3) - n \cdot t_4 \cdot v_{р.н}}, M^2,$$

где  $v_{р.н}$  – расчетная скорость фильтрования для схемы с осветлителем  $v=10$  м/ч, с вихревым реактором  $v=6$  м/ч;

$n$  – количество промывок в сутки,  $n=2-3$ ;

$w_1, t_1$  – первоначальное взрыхление,  $w_1=8$  л/с·м<sup>2</sup>,  $t_1=0,017$  ч (1 мин);

$w_2, t_2$  – водовоздушная промывка,  $w_2=4$  л/с·м<sup>2</sup>,  $t_2=0,083$  ч (5 мин);

$w_3, t_3$  – отмывка,  $w_3=8$  л/с·м<sup>2</sup>,  $t_3=0,05$  ч (3 мин);

$t_4$  – простой из-за промывки,  $t_4=0,5$  ч.

Высота  $H=1000$  мм.

Существующие диаметры и, соответственно, площади фильтров:

$D, \text{ мм} \rightarrow 1000; 1500; 2000; 2600; 3000; 3400;$

$f, \text{ мм} \rightarrow 0,78; 1,77; 3,14; 5,3; 7,06; 9,08.$

Количество фильтров:  $n = \frac{F}{f}, шт.$

### БАК-ОТСТОЙНИК ПРОМЫВНЫХ ВОД

Рассчитывается из расчета двух последовательных промывок:

$$W = \frac{2 \cdot F \cdot w \cdot t \cdot 60}{1000}, M^3,$$

где  $w$  – интенсивность промывки, л/с·м<sup>2</sup>;

$t$  – длительность промывки, мин.

## РАСЧЕТ ВИХРЕВОГО РЕАКТОРА

Условия применения:

- 1)  $\frac{Ca^{2+}}{20} > Ж_k$ ;
- 2)  $[Mg] \leq 15$  мг/л;
- 3) перманганатная окисляемость не более 10 мг/л. Принимается 2 реактора (1 рабочий, 1 резервный).

Площадь верхней части  $f_o = \frac{q_{сек}}{v_o}, м^2$ ;  $v_o = 0,004 - 0,006$  м/с.

Диаметр  $d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot f_o}{\pi}}, м$

Диаметр нижней части принимается  $d_n = 0,4 - 0,6$  м, площадь:

$$f_n = \frac{\pi \cdot d_n^2}{4}, м^2$$

Скорость:  $v_n = \frac{q_{сек}}{f_n}, м/с$  (рекомендуемая  $v_n = 0,8 - 1,0$  м/с).

При недостаточной скорости движения рекомендуется установить в нижней части реактора коническую вставку.

Высота усеченного конуса:  $h_{y,x} = \frac{d_o - d_n}{2 \cdot tg 10^\circ}, м$

Объем реактора:  $W = \frac{1}{3} \cdot h_{y,x} \cdot (f_o + f_n + \sqrt{f_o \cdot f_n}), м^3$

Высота загрузки:  $h_z = 0,5 \cdot h_{y,x}, м$

Диаметр на высоте  $h_z$  от нижнего сечения:

$$d_1 = 2 \cdot ((tg 10^\circ) \cdot h_z) + d_n, м$$

Площадь

$$f_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}, м^2$$

Объем:  $W_1 = \frac{1}{3} \cdot h_z \cdot (f_1 + f_n + \sqrt{f_1 \cdot f_n}), м^3$  – объем реактора в пределах заполнения его контактной массой.

Насыщение водой контактной массы в занимаемом ею объеме реактора:

$$P_o = 100 - \frac{G_m}{W_1 \cdot q_o \cdot 1000} \cdot 100, \%$$

где  $G_m$  – вес контактной массы,  $G_m = 10 \cdot W, кг$

$W$  – объем реактора,  $м^3$ .

Количество контактной массы должно составлять 10 кг на  $1 м^3$  объема реактора.

$q_o$  – удельный вес контактной массы,  $кг/м^3$ ,  $q_o = 1,65$   $кг/м^3$ .

Потеря напора в реакторе на 1 м высоты контактной массы в среднем 0,35 м, тогда полная потеря напора на высоте:

$$h_{n,з} = 0,35 \cdot h_3, \text{ м}$$

Потеря напора на выходе воды из подающего сопла:  $h_c = \frac{v^2}{\mu^2 \cdot 2g}, \text{ м}$ ,

где  $v$  – скорость выхода из сопла,  $v=1,0 \text{ м/с}$ ;  
 $\mu$  – коэффициент сопротивления,  $\mu=0,9$ .

Сумма потерь в реакторе:  $\sum h = h_{n,з} + h_c, \text{ м}$

### БАК ПОДАЧИ КОНТАКТНОЙ МАССЫ

Рассчитывается на количество добавляемой контактной массы в сутки:

$$G_{см} = 0,045 \cdot Ж \cdot q, \text{ кг / сут.},$$

где  $Ж$  – удаляемая в реакторе жесткость, мг-экв/л;  
 $q$  – производительность установки,  $\text{м}^2/\text{ч}$ .

Объем бака подачи контактной массы:  $V = \frac{m}{\rho} = \frac{G_{см}}{\rho}, \text{ м}^3$

$\rho$  – плотность контактной массы,  $\text{кг/м}^3$ .

Принимается бак прямоугольный в плане,  $h=1 \text{ м}$ . Контактная масса в вихревой реактор подается с помощью эжектора.

### РАСЧЕТ РЕЗЕРВУАРА ГЛУБОКО УМЯГЧЕННОЙ (ОБЕССОЛЕННОЙ ВОДЫ)

Резервуар рассчитывается на полный расход, согласно балансовой схеме, при 3-х часовом хранении воды:  $W_{рез} = q_{мин} \cdot 3, \text{ м}^3$

$$q_{полн.} - [\text{м}^3/\text{ч}] = [\text{л/с} \cdot 3,6]$$

### РАСЧЕТ РЕЗЕРВУАРА ОСВЕТЛЕННОЙ И ОБЕСЦВЕЧЕННОЙ ВОДЫ

Рассчитывается на полный расход с учетом собственных нужд станции

$$W_{рез} = \frac{Q_{общ} \cdot 3}{24}, \text{ м}^3$$

$Q_{общ}$  –  $[\text{м}^3/\text{сут}]$ .

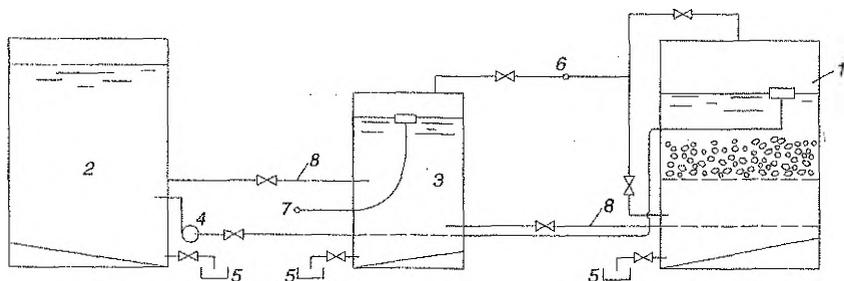
С учетом собственных нужд технологической схемы расчетного осветления, обезцвечивания и умягчения, расчетный расход составит:

$$Q_{общ} = (Q_{обес.} + Q_{ум.}) \cdot \alpha, \text{ м}^3 / \text{сут.},$$

где  $Q_{обес.}$ ,  $Q_{ум.}$  – суммарные расходы воды, подаваемые на установки по глубокому обессоливаю, умягчению (с учетом собственных нужд).

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий собственные нужды технологической схемы реагентного осветления, обезцвечивания и умягчения.  $\alpha=1,1$ .

## РАСЧЕТ КОАГУЛЯНТНОГО ХОЗЯЙСТВА



1 – растворный бак; 2 – резервуар-хранилище; 3 – расходный бак; 4 – насос перекачки коагулянта из растворных баков в баки-хранилища; 5 – канализационные лотки; 6 – водопровод; 7 – трубопровод к насосам-дозаторам; 8 – трубопроводы отвода раствора  
**Рисунок 14 – Схема при использовании концентрированного коагулянта**

Основные расчетные зависимости для определения объемов баков приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчетные зависимости для определения емкостных сооружений реагентного хозяйства

Наименование сооружения	Формула определения объема	Примечание
Растворный бак коагулянта и известкового молока	$W_p = \frac{Q_n \cdot n \cdot D_k}{10000 \cdot b_p \cdot \gamma}$	должно быть не менее 3, $b_p=20-17\%$
Расходный бак коагулянта и ПАА	$W = \frac{W_p \cdot b_p}{b}$	должно быть не менее 2, для коагулянта $b_p=10-12\%$ , $b=4-10\%$ ; для флокулянта $b_p=0,5-1,0\%$
Растворные баки (резервуары)-хранилища коагулянта	$W_p = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot T \cdot D_k}{10000 \cdot b_p \cdot \gamma}$	должно быть не менее 3, $b_p=15-20\%$ , $\gamma=1,2\text{т/м}^3$
Расходный бак коагулянта	$W = \frac{W_p \cdot n \cdot b_p}{24 \cdot T \cdot b}$	баков не менее 2, $b=4-10\%$
Растворный бак коагулянта	$W = (1,8 \div 2,0)G$	баков не менее 3
Бак гашения и хранения известкового теста	$W = (2,8 \div 3,0)G$	не менее 2
Бак мокрого хранения поваренной соли	$W = 1,5 \cdot G$	не менее 2; $H \leq 2,5\text{м}$

$Q_k$  – производительность станции очистки, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_{\text{сут}}$  – то же, м<sup>3</sup>/сут;

$D$  – доза реагентов, мг/л;

$n$  – число часов, затрачиваемое на цикл приготовления реагента (обычно от 10 до 24 часов);

- $b_p$  – концентрация раствора в растворном баке, %;  
 $b$  – то же в расходном баке, %;  
 $T$  – время хранения реагента на станции, сут (должно быть не менее 30);  
 $\gamma$  – объемная масса раствора реагента (обычно 1 т/м<sup>3</sup>);  
 $G$  – масса реагента, хранимая на станции очистки воды (в расчете на 30 суток);  
 $q_c$  – производительность сатуратора, л/час;  
 $P$  – растворимость реагента, г/л;  
 $W$  – емкость рабочей части (над колосниковыми решетками) баков и резервуаров, м<sup>3</sup>.

## РАСЧЁТ ЭЛЕМЕНТОВ КОАГУЛЯНТНОГО ХОЗЯЙСТВА

1. Определяют суточный потребный расход коагулянта (например, FeCl<sub>3</sub>):

$$P^r = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_k \cdot 100}{P_c \cdot 1000 \cdot 1000}, \text{ т/сут}$$

где:  $Q_{\text{сут}}$  – суточный расход, на который рассчитывается технологическая схема реагентного умягчения, м<sup>3</sup>/сут;

$D_k$  – доза коагулянта, мг/л; определяется с учётом исходных  $M$ ,  $C$  и максимальной концентрации взвеси; образующейся при введении реагентов; окончательно принимается большее значение, но не выше предельного по табл.16 [1] – 35 мг/л):

$$D_k = 4 \cdot \sqrt{C}, \text{ мг/л}; D_k \text{ по табл.16 [1];}$$

$$D_k = 3 \cdot \sqrt[3]{C}, \text{ мг/л};$$

при известково-содовом методе умягчения:

$$C = M_{\text{исх}} + 50 \cdot (Ж_o + Ж_k + \frac{CO_2}{22} + 0,5) + 29 \cdot \frac{Mg^{2+}}{12} + D_n \cdot \frac{100 - m}{m},$$

$m$  – процентное содержание извести в товарном продукте, 70%;

при известковом методе:

$$C = M_{\text{исх}} + 50 \cdot (2 \cdot Ж_k + \frac{CO_2}{22}) + 29 \cdot \frac{Mg^{2+}}{12} + D_n \cdot \frac{100 - m}{m},$$

$P_c$  – содержание безводного продукта в коагулянте, 53%.

2. Количество раствора концентрацией  $b_p = 20 \div 17\%$ :

$$W_{20\%} = \frac{P_r \cdot 100}{b \cdot \gamma}, \text{ м}^3,$$

где  $\gamma$  – удельный вес,  $\gamma = 1,2$  т/м<sup>3</sup>.

Принимаются растворные баки, прямоугольные в плане (должно быть не менее трёх).

3. Расчёт баков-хранилищ (на 10-суточное хранение):

$$Q_{\text{б.хп.}} = W_{20\%} \cdot 10, \text{ м}^3$$

$$b_p = 15 \div 20\%.$$

Количество баков  $N$  принимается не менее трёх с размерами  $a \times B \times h$ .

В баках-хранилищах предусматривается перемешивание сжатым воздухом с интенсивностью  $3 \div 5$  л/с м<sup>2</sup> ( $w$ ).

$$q = a \cdot B \cdot w \cdot N, \text{ л/с, м}^3/\text{мин}$$

4. Расходные баки рассчитывают на трёхчасовое хранение:

$$W_{10\%} = \frac{P_r \cdot 100}{b \cdot \gamma \cdot 24} \cdot 3, \text{ м}^3$$

$$b = 4 \div 10\%.$$

Принимается 2 расходных бака.

## РАСЧЕТ ИЗВЕСТКОВОГО ХОЗЯЙСТВА

Использование известкования воды для улучшения процессов коагулирования и стабилизационной обработки воды связано с необходимостью предварительного гашения извести. Из-за малой растворимости извести ее обычно дозируют в виде известкового молока, представляющего собой быстро расслаивающуюся суспензию. Поэтому в баках хранения известкового молока требуется постоянное перемешивание.

Известегасильные аппараты (табл.17) применяют для гашения и измельчения извести.

Таблица 17 – Характеристики аппаратов известкового хозяйства

Марка аппарата	Производительность, т/ч	Габариты, мм			Мощность электродвигателя, кВт
		длина	ширина	высота	
Известегасилка С-382	1	1770	1750	1540	2,8
Известегасилка СМ-1247	2-3	2800	996	1560	2,2
Шаровая мельница СМ-432	0,5-1,9	5088	1800	1700	20
Шаровая мельница М-435	1,0-2,4	4925	1820	1700	20

На рисунке 15 представлена схема организации известкового хозяйства, принятая в действующих типовых проектах станций малой и средней производительности.

### РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗВЕСТКОВОГО ХОЗЯЙСТВА

1. Расчет баков-растворителей.

Суточный расход извести в перерасчете на CaO:

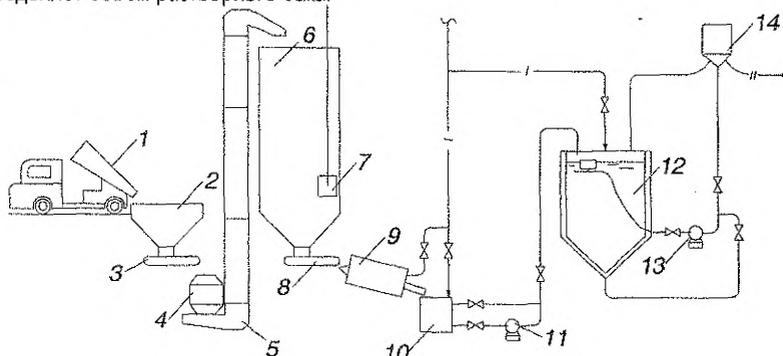
$$Q_{\text{сут}}^{\text{CaO}} = \frac{Q \cdot D_n}{1000 \cdot 1000}, \text{ m}^3/\text{сут.},$$

где  $Q$  – суточный расход, суммарный, с учетом собственных нужд станции водоподготовки, м<sup>3</sup>/сут.

Суточный расход товарной извести ( $v=78\%$ ):

$$Q_{\text{сут}}^{78\%} = \frac{Q_{\text{сут}}^{\text{CaO}} \cdot 100}{v}, \text{ m}^3/\text{сут.}.$$

Количество раствора  $v=10\%$ -й концентрации, получаемое при растворении  $Q_{\text{сут}}^{78\%}$  определяет объем растворного бака:



- 1 – автотранспорт; 2 – бункер; 3 – питатель; 4 – дробилка; 5 – элеватор; 6 – бункер-хранилище;  
 7 – вибратор; 8 – питатель; 9 – известегасилка; 10 – промежуточный бак;  
 11, 13 – насосы; 12 – бак с гидравлическим перемешиванием; 14 – дозатор; I – трубопровод подачи воды; II – подача известковой суспензии к смесителю

Рисунок 15 – Схема известкового хозяйства с поступлением комовой негашеной извести

$$W_{p-p} = (Q_{\text{сут}}^{78\%} \cdot 100) / (\sigma \cdot \gamma), \text{ м}^3$$

Принимаем два бака квадратные в плане.

2. Расчет расходных баков 4%-й концентрации:

$$Q^{4\%} = (Q_{\text{сут}}^{78\%} \cdot 100) / (\sigma \cdot \gamma \cdot 24), \text{ м}^3 / \text{ч}$$

$\sigma = 4\%$ ,  $\gamma = 1$ .

Расходные баки рассчитываются на трёхчасовое хранение:

$$W = Q^{4\%} \cdot 3, \text{ м}^3$$

Принимаются 2 бака квадратные в плане.

3. Подбирается химический насос для перекачки известкового молока; определяется подача насоса-дозатора; подбирается воздуходувка для подачи воздуха.

## РАСЧЕТ СОДОВОГО ХОЗЯЙСТВА

### Расчет растворных баков

Объем, получаемый при использовании соды с содержанием безводного продукта 100% и 80%, рассчитывается по формуле:

$$W_p^{(100\%)} = \frac{q_{\text{рас}} \cdot T \cdot D_c}{10000 \cdot \sigma_p \cdot \gamma}, \text{ м}^3,$$

$$W_p^{(80\%)} = \frac{W_p^{(100\%)} \cdot 100}{80}, \text{ м}^3,$$

где  $q_{\text{рас}}$  – часовой расчетный расход технологической схемы,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$T$  – время, на которое заготавливается раствор (12-24 ч);

$D_c$  – доза соды,  $\text{мг}/\text{л}$ ;

$\sigma_p$  – 8% для регенерации анионитовых фильтров; 20% – для реагентного хозяйства при умягчении;

$\gamma$  – объемный вес,  $1 \text{ г}/\text{м}^3$ .

Принимается 2 бака по  $W_p$ , при  $h=1 \text{ м}$ ,  $\sigma = l = \sqrt{W_p}, \text{ м}$ .

Расчет расходных баков.

$$W_{\text{расх}} = \frac{W_p \cdot \sigma_p \cdot t}{T \cdot \sigma_{p-x}}, \text{ м}^3,$$

где  $T$  и  $t$  – время, на которое заготавливается реагент в растворном и расходном баках, ч.

$\sigma_{p-x}$  – 4% для регенерации анионитовых фильтров, 8% – для реагентного умягчения.

Принимается 2 бака по  $W_{\text{расх}}$ ,  $h=1-2 \text{ м}$ .

Подбор воздуходувки – исходя из интенсивности ( $\omega$ ) – для растворения 8-10  $\text{л}/\text{с}\cdot\text{м}^2$  (в растворном баке), для перемешивания 3-5  $\text{л}/\text{с}\cdot\text{м}^2$  (в расходном баке).

Расход воздуходувки:  $q_a = \omega \cdot F, \text{ л}/\text{с}$ ,

где  $F$  – площадь фильтра,  $\text{м}^2$ .

Перекачка раствора осуществляется кислотостойким насосом, дозирование раствора – насосом-дозатором.

$$\text{Производительность насоса: } q = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_p}{K_p \cdot 1000}, \text{ м}^3 / \text{сут.},$$

где  $Q_{\text{сут}}$  – расход воды,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;

$D_p$  – доза реагента,  $\text{мг}/\text{л}$ ;

$K_p$  – концентрация раствора в баке, из которого идет перекачка (дозирование) раствора,  $\text{г}/\text{л}$  (массовая доля 1000).

Например, при дозировании 75% раствора  $K_p=0,75 \cdot 1000=750 \text{ г}/\text{л}$ .

#### 4. РАЗРАБОТКА КОМПОНОВОЧНОГО ПЛАНА ЗДАНИЯ СТАНЦИИ СПЕЦВОДОПОДГОТОВКИ И ГЕНПЛАН ПЛОЩАДКИ ПРОМПРЕДПРИЯТИЯ С СЕТЯМИ И СООРУЖЕНИЯМИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Основопологающим при решении компоновочного плана является состав очистных сооружений. Компактное взаимное расположение сооружений, оборудования на компоновочном плане должны предусматривать минимальные капитальные вложения в строительство, обеспечивать максимальное удобство и экономичность эксплуатации, минимальную протяженность трубопроводов, надежность и бесперебойность работы комплекса, возможность планомерного расширения при росте водопотребления.

Компоновочный план разрабатывается по размерам сооружений водоподготовки, учитывая следующие основные принципы:

- здание прямоугольное в плане;
- расстояние между колоннами равно 3, 6, 9 м;
- устройство ворот для подвоза оборудования в здание;
- обеспечение свободного прохода к очистным сооружениям и запорно-регулирующей арматуре;
- деление здания на секции в зависимости от видов технологических процессов;
- расстояние между рабочим оборудованием рекомендуется принимать не менее 1 метра;
- размещение сооружений в плане должно обеспечивать минимальную протяженность связывающих трубопроводов.

В здании водоподготовки предусматривается размещение комплексов сооружений по предварительному осветлению и реагентному умягчению воды (включая известковое хозяйство и сооружения для приготовления раствора коагулянта), по глубокому умягчению на Na-катионитовых и H-катионитовых фильтрах (включая солевое и кислотное хозяйство), по глубокому обессоливанию на H-катионитовых и анионитовых фильтрах (включая щелочное и содовое хозяйство). Указываются размеры сооружений, подвод и отвод основных трубопроводов. Рабочее оборудование указывается условно в виде фундаментов под него. Резервуары осветленной, глубоко умягченной и глубоко обессоленной воды размещаются по длине в непосредственной близости к зданию станции спецводоподготовки на генплане площадки промышленного предприятия.

Компоновочный план здания станции спецводоподготовки разрабатывается на втором листе графической части курсового проекта. Пример компоновочного плана представлен в приложении 3.

Генплан площадки п/п вычерчивается с учетом потребителей воды (отдельные цеха, производства), использующих воду определенного качества.

Намечаются расположение основных сооружений и системы водоснабжения (насосные станции, охлаждающие устройства, водоочистные сооружения, резервуары и др.) и начертания линий водоводов и водопроводной сети, определяются узлы переключения потоков воды.

Внутриплощадочная сеть производственного водопровода устраивается тупиковой; хозяйственно-питьевой водопровод, объединенный с противопожарным устраивается кольцевым.

На рисунке 16 (см. страницу 63) представлен пример схемы генплана площадки промпредприятия (М 1:10000), с сетями и сооружениями производственного водоснабжения.

#### 4.1 РАСЧЁТ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ЁМКОСТИ В СИСТЕМЕ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Полный объём РЧВ на площадке промпредприятия в системе объединённого хозяйственно-противопожарного водоснабжения:

$$W_{РЧВ} = W_{\text{пож.}} + W_{\text{св.}}, \text{ м}^3,$$

где  $W_{\text{пож.}}$  – неприкосновенный запас воды на тушение пожара; рассчитывается из условия тушения расчётного количества одновременных пожаров  $n$  в течение всего нормативного времени тушения пожара  $T_{\text{пож.}}$ .

Тогда:

$$W_{\text{пож.}} = 3,6 \cdot n \cdot T_{\text{пож.}} \cdot Q_{\text{пож.1}}, \text{ м}^3,$$

где  $Q_{\text{пож.1}}$  – расход воды на тушение 1-го пожара, л/с;

$$T_{\text{пож.}} = 3 \text{ ч};$$

$W_{\text{св.}}$  – аварийный объём воды, обеспечивающий в течение времени ликвидации аварии на водоводе  $T_{\text{ав}}$  аварийный расход воды  $Q_{\text{ав}}$ .

В курсовом проекте принимается:

$$W_{\text{св.}} = 3 \cdot Q_{\text{х-п}}, \text{ м}^3,$$

где  $Q_{\text{х-п}}$  – расход воды на хозяйственно-питьевые нужды, м<sup>3</sup>/ч.

Определяются основные размеры РЧВ: высота  $H_{РЧВ}$ , м ( $H_{РЧВ} = 3,5$  м); площадь

$$F_{РЧВ} = \frac{W_{РЧВ}}{H_{РЧВ}}, \text{ м}^2; \text{ диаметр } D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{РЧВ}}{\pi}}, \text{ м.}$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ПРИМЕР РАСЧЁТА СООРУЖЕНИЙ ПО ГЛУБОКОМУ УМЯГЧЕНИЮ МЕТОДОМ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО НА-КАТИОНИРОВАНИЯ.

### Расчёт Na-катионитовых фильтров

1) Рабочая обменная емкость Na-катионита составит

$$E_{\text{руб}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \cdot \beta_{\text{Na}} \cdot E_{\text{полн}} - 0,5 \cdot q_{\text{уд}} \cdot \text{Ж}_{\text{осл}} \cdot e - \text{экв} / \text{м}^3;$$

$\alpha_{\text{Na}}$  – коэффициент эффективности регенерации натрий-катионита, учитывающий неполноту регенерации катионита, при удельном расходе соли на регенерацию  $a_s = 200 \text{ г/г-экв}$   $\alpha_s = 0,81$ ;

$\beta_{\text{Na}}$  – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита из-за частичного задержания катионов натрия.

$$C_{\text{Na}} = \frac{\text{Na}^+}{23} = \frac{5,2}{23} = 0,228 - \text{экв} / \text{м}^3$$

При  $\frac{C_{\text{Na}}}{\text{Ж}_0} = \frac{0,23}{1} = 0,23$  принимаем  $\beta_{\text{Na}} = 0,79$ .

$E_{\text{полн}}$  – полная обменная емкость сульфогля,  $E_{\text{полн}} = 500 \text{ г-экв/м}^3$ ;

$q_{\text{уд}}$  – удельный расход воды на отмывку катионита,  $\text{м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  катионита, принимаемый равным для сульфогля - 4.

$$E_{\text{руб}}^{\text{Na}} = 0,81 \cdot 0,79 \cdot 500 - 0,5 \cdot 4 \cdot 1 = 317,95 \text{ г-экв/м}^3$$

2) Необходимый объем катионита

$$W_k = \frac{24 \cdot q_{\text{уд}} \cdot \text{Ж}_{\text{осл}}}{n_p \cdot E_{\text{руб}}^{\text{Na}}}$$

где  $q_{\text{уд}}$  – расход умягчаемой воды (полезный),  $q_{\text{уд}} = 5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;

$n_p$  – число регенераций каждого фильтра в сутки.

$$n_p = \frac{T}{t + t_1} = \frac{24}{22 + 2} = 1$$

$T$  – продолжительность работы катионитовой установки в течение суток, ч;

$t$  – полезная продолжительность одного фильтроцикла, принимаемая 10-22 ч для первой ступени;

$t_1$  – продолжительность операций, сопровождающих регенерацию катионитового фильтра 1-2 ч;

$$W_k = \frac{24 \cdot 5 \cdot 1}{1 \cdot 317,95} = 0,38 \text{ м}^3$$

3) Задаемся высотой слоя загрузки катионита  $H_k = 2 \text{ м}$ ,  $D = 1,5 \text{ м}$ ;

4) Определяем суммарную площадь фильтров:

$$F = \frac{W_k}{H_k} = \frac{0,38}{2} = 0,19 \text{ м}^2$$

5) Подбираем диаметр фильтров, количество фильтров, площадь каждого таким образом, чтобы  $W_{\text{общ}} > W_k$ .

Площадь одного фильтра:

$$f = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} = 1,77 \text{ м}^2$$

$$\text{Число фильтров: } N = \frac{F}{f} = \frac{0,19}{1,77} = 1$$

Принимаем 2 фильтра рабочих и 1 резервный.

Общий объем загрузки для 2 рабочих фильтров:

$$W_{\text{общ}} = 2 \cdot f \cdot H_k = 2 \cdot 1,77 \cdot 2 = 7,08 \text{ м}^3 > W_k = 0,38 \text{ м}^3$$

Проверка скорости фильтра:

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{2,5}{2 \cdot 1,77} = 0,71 < 25 \text{ м/ч}$$

условие выполняется.

б) Расход соли на регенерацию фильтра:

$$P_c = \frac{f \cdot H_k \cdot E_{\text{рес}} \cdot a_c}{1000} = \frac{1,77 \cdot 2 \cdot 317,95 \cdot 200}{1000} = 225,11 \text{ кг}$$

### Расчет расхода воды на собственные нужды установки

а) на приготовление раствора поваренной соли при сухом хранении:

$$q_{\text{ум}} < 10 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{\text{соли}} = n_p \cdot n_{\text{на}} \cdot (0,001 \cdot P_c \cdot S + 0,06 \cdot f_c \cdot w \cdot t_c), \text{ м}^3 / \text{сут.},$$

где  $n_{\text{на}}$  – количество фильтров;

$S$  – количество воды в л на растворение 1 кг технической соли (10 л/кг);

$f_c$  – площадь солерастворителя, 0,35 м<sup>2</sup>;

$w, t_c$  – соответственно интенсивность (5 л/с·м<sup>2</sup>) и продолжительность промывки солерастворителя (5 мин).

### Расчет солерастворителя

Расчетное количество соли составляет 225,11 кг.

Полезная емкость по соли серийно изготавливаемого солерастворителя составляет 240 кг. Следовательно, принимаем один рабочий и один резервный солерастворитель.

Объем соли раствора, пропускаемого через гравийные слои солерастворителя для очистки от загрязнений:

$$W_{p,c} = \frac{P_c \cdot q_{p,c}}{n \cdot 1070} = \frac{225,11 \cdot 10}{1 \cdot 1070} = 2,1 \text{ м}^3,$$

где  $q_{p,c}$  – количество воды для растворения 1 кг соли, равное 10 л;

1070 кг/м<sup>3</sup> – объемный вес 10%-ного соляного раствора.

Скорость фильтрования раствора соли через гравийные слои при площади солерастворителя  $f_c = 0,35 \text{ м}^2$  (диаметр 670 мм) составит.

$$v_c = \frac{W_{p,c}}{f_c} = \frac{2,1}{0,35} = 6 \text{ м/ч} \quad (\text{предельно допустимая скорость})$$

Полезный объем каждого солерастворителя принимается на 35-40% больше расчетного количества соли, т.е.

$$W_c = 1,35 \cdot \frac{225,11}{1070} = 0,28 \text{ м}^3$$

Отсюда высота полезного объема солерастворителя при полной высоте корпуса 1,025 м.

$$h_c = \frac{0,28}{0,35} = 0,8 \text{ м}$$

$$Q_{\text{соли}} = 1 \cdot 2 \cdot (0,001 \cdot 225,11 \cdot 10 + 0,06 \cdot 0,35 \cdot 5 \cdot 5) = 5,55 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

б) расход воды на взрыхление катионита:

$$Q_{\text{взр}} = 0,06 \cdot n_p \cdot n_{\text{Na}} \cdot f \cdot n_{\text{Na}} \cdot w \cdot t_{\text{взр}}, \text{ М}^3/\text{сут.},$$

где  $w$  – интенсивность взрыхления 4-5 л/с·м<sup>2</sup>;

$t_{\text{взр}}$  – время взрыхления, 20-30 мин.

$$Q_{\text{взр}} = 0,06 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1,77 \cdot 5 \cdot 25 = 26,55 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

в) на отмывку загрузки катионита:

$$Q_{\text{отм}} = n_p \cdot n_{\text{Na}} \cdot f \cdot n_k \cdot q_{\text{уд}}, \text{ М}^3/\text{сут.},$$

где  $q_{\text{уд}}$  – удельный расход воды на отмывку катионита в м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> катионита, для сульфогля  $q_{\text{уд}} = 5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;

$$Q_{\text{отм}} = 1 \cdot 2 \cdot 1,77 \cdot 2 \cdot 5 = 35,4 \text{ м}^3/\text{сут.};$$

Суммарный расход воды на собственные нужды:

$$Q_{\text{с.н.}} = Q_{\text{соли}} + Q_{\text{взр}} + Q_{\text{отм}} = 5,55 + 26,55 + 35,4 = 67,50 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$Q = Q_{\text{полез}} + Q_{\text{с.н.}} = 5 \cdot 24 + 67,50 = 187,50 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Процент добавочной воды:

$$P_a = \frac{q_{\text{полез}} \cdot 24 + Q_{\text{с.н.}}}{q_{\text{полез}} \cdot 24} = \frac{5 \cdot 24 + 67,50}{5 \cdot 24} = 1,56\%$$

### Расчет баков с водой для взрыхления слоя катионита

$$W_{\text{взр.б.}} = 0,12 \cdot w \cdot f \cdot t_{\text{взр}} = 0,12 \cdot 5 \cdot 1,77 \cdot 25 = 26,55 \text{ м}^3,$$

где  $w$  – интенсивность взрыхления,  $w = 5 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$ ;

$f$  – площадь одного фильтра, м<sup>2</sup>;

$t_{\text{взр}}$  – продолжительность взрыхления,  $t_{\text{взр}} = 25 \text{ мин.}$

Принимаем 3 бака  $W_{\text{взр.б.1}} = W_{\text{взр.б.}}/3$  каждый.

$$W_{\text{взр.б.1}} = 26,55/3 = 8,85 \text{ м}^3;$$

Размерами 2х2,95 м при  $h = 1,5 \text{ м}$  прямоугольные в плане ( $F = 5,9 \text{ м}^2$ ).

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5. ПРИМЕР РАСЧЁТА СООРУЖЕНИЙ ПО ГЛУБОКОМУ ОБЕССОЛИВАНИЮ МЕТОДОМ ТРЁХСТУПЕНЧАТОГО Н-КАТИОНИРОВАНИЯ-АНИОНИРОВАНИЯ

### Расчет Н-катионитовых фильтров

#### Первая ступень

1) Расчет обменной емкости

$$E_{\text{рас}}^H = \alpha_H \cdot E_{\text{полн}} - 0,5 \cdot q_{\text{уд}} \cdot C_{\Sigma}, z - \text{экв} / \text{м}^3,$$

где  $\alpha_H$  – коэффициент эффективности регенерации, учитывающий неполноту регенерации катионита, при удельном расходе кислоты на регенерацию  $a_k = 150$  г/г-экв,  $\alpha_H = 0,91$ ;

$E_{\text{полн}}$  – паспортная полная обменная емкость сульфоугля,

$$E_{\text{полн}} = 500 \text{ г-экв/м}^3;$$

$q_{\text{уд}}$  – удельный расход на отмывку,  $q_{\text{уд}} = 5 \text{ м}^3/\text{м}^3$  – для сульфоугля;

$C_{\Sigma}$  – сумма катионов в воде, г-экв/м<sup>3</sup>.

$$C_{\Sigma} = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^+] = 0,75 + 0,41 + 0,23 = 1,39 z - \text{экв} / \text{м}^3$$

$$E_{\text{рас}}^H = 0,91 \cdot 500 - 0,5 \cdot 5 \cdot 1,39 = 451,53 \text{ г-экв/м}^3$$

2) Необходимый объем катионита

$$W_{H1} = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{сут}} \cdot C_{\Sigma}}{n_p \cdot E_{\text{рас}}^H}, \text{ м}^3,$$

где  $Q_{\text{сут}}$  – полезный расход обессоленной воды, м<sup>3</sup>/сут.;

$n_p$  – число регенераций каждого фильтра в сутки,  $n_p = 1-3$ ;

$\alpha$  – коэффициент для учета воды на собственные нужды, принимается 1,05-1,35;

$$W_{H1} = \frac{1,2 \cdot 840 \cdot 1,39}{2 \cdot 451,53} = 1,55 \text{ м}^3$$

3) Задаемся высотой слоя загрузки катионита  $H_k = 2,5$  м,  $D = 2,0$  м.

4) Определяем суммарную площадь фильтров:

$$F = \frac{W_{H1}}{H_k} = \frac{1,55}{2,5} = 0,62 \text{ м}^2$$

5) Подбираем диаметр фильтров, количество фильтров, площадь каждого таким образом, чтобы  $W_{\text{общ}} > W_k$ .

Площадь одного фильтра:

$$f = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,0^2}{4} = 3,14 \text{ м}^2$$

Число фильтров:

$$N = \frac{F}{f} = \frac{0,62}{3,14} = 1$$

Принимаем 2 фильтра рабочих и 1 резервный.

6) Проверяем общий объем загрузки:

$$W_{\text{общ}} = f \cdot H_k = 2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 = 15,7 \text{ м}^3 > W_{H1} = 1,55 \text{ м}^3$$

Проверка скорости фильтра:

$$v_{\text{ф}} = \frac{Q}{F} = \frac{35}{2 \cdot 3,14} = 5,57 \text{ м/ч} \quad (v_{\text{ф}} = 10-25 \text{ м/ч})$$

условие выполняется.

## Вторая ступень

1) Расчет обменной емкости

$$E_{\text{раб}}^H = \alpha_H \cdot E_{\text{полн}} - 0,5 \cdot q_{\text{уд}} \cdot C_{Na}, \text{ экв/м}^3,$$

где  $\alpha_k = 100 \text{ г/г-экв}$ ,  $\alpha_H = 0,85$ ;

$$E_{\text{полн}} = 500 \text{ г-экв/м}^3;$$

$q_{\text{уд}}$  – удельный расход воды на отмывку после анионитовых фильтров 1-ой ступени,  $q_{\text{уд}} = 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$  – для сульфогугля;

$C_{Na}$  – сумма катионов натрия в воде, поступающей на фильтры 2-ой ступени, г-экв/м<sup>3</sup>. Принимаем  $C_{Na} = 0,23/2 = 0,115 \text{ г-экв/м}^3$  (50% от начальной суммы катионов натрия в исходной воде).

$$E_{\text{раб}}^H = 0,85 \cdot 500 - 0,5 \cdot 10 \cdot 0,115 = 424,43 \text{ г-экв/м}^3$$

2) Необходимый объем катионита

$$W_{H11} = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{сум}} \cdot C_{Na}}{n_p \cdot E_{\text{раб}}^H}, \text{ м}^3$$

$$n_p = \frac{T}{t + t_1} = \frac{24}{50 + 3} = 1$$

$T$  – продолжительность работы H-катионитовой установки в течение суток, ч;

$t$  – полезная продолжительность одного фильтроцикла (до 100 ч) для второй ступени;

$t_1$  – продолжительность операций, сопровождающих регенерацию H-катионитового фильтра 2,5-3 ч;

$$W_{H11} = \frac{1,03 \cdot 840 \cdot 0,115}{1 \cdot 424,43} = 0,23 \text{ м}^3$$

3) Задаемся высотой слоя загрузки катионита  $H_k = 1,5 \text{ м}$ ,  $D = 2,0 \text{ м}$ .

4) Определяем суммарную площадь фильтров:

$$F = \frac{W_{HII}}{H_k} = \frac{0,23}{1,5} = 0,15 \text{ м}^2$$

5) Подбираем диаметр фильтров, количество фильтров, площадь каждого таким образом, чтобы  $W_{\text{общ}} > W_k$

Площадь одного фильтра:

$$f = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,0^2}{4} = 3,14 \text{ м}^2$$

Число фильтров:

$$N_k = \frac{F}{f} = \frac{0,15}{3,14} = 1$$

Принимаем 2 фильтра рабочих и 1 резервный.

6) Проверяем общий объем загрузки:

$$W_{\text{общ}} = f \cdot N_k = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 = 9,42 \text{ м}^3 > W_{HII} = 0,23 \text{ м}^3$$

Проверка скорости фильтра:

$$v_{\text{ф}} = \frac{Q}{F} = \frac{35}{2 \cdot 3,14} = 5,57 \text{ м/ч} \text{ (скорость до 50 м/ч)}$$

условие выполняется.

### Третья ступень

Принимаем без расчета равнозначно второй ступени: 2 фильтра рабочих, 1 резервный диаметром 2,0 м и высотой слоя загрузки 1,5 м.

## Расчет анионитовых фильтров

### Первая ступень

1) Загружен слабоосновным анионитом АН-31 и сильноосновным АВ-17.

$E_{\text{раб}} = 700 \text{ г-экв/м}^3$ .

2) Необходимый объем

$$W_{\text{ан1}} = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{сут}} \cdot C_0}{n_p \cdot E_{\text{раб}}}, \text{ м}^3$$

где  $C_0$  – суммарное содержание сульфатных, хлоридных и нитратных ионов в исходной воде, г-экв/м<sup>3</sup>;

$n_p = 1$  – число регенераций каждого фильтра в сутки;

$\alpha = 1,2$  – коэффициент для учета воды на собственные нужды;

$Q_{\text{сут}}$  – полезная производительность, м<sup>3</sup>/сут;

$E_{\text{раб}}$  – рабочая обменная емкость, г-экв/м<sup>3</sup>

$$C_0 = [SO_4^{2-}] + [Cl^-] = 0,19 + 0,11 = 0,32 \text{ - экв/л} \cdot \text{м}^3$$

$$W_{\text{ант}} = \frac{1,2 \cdot 840 \cdot 0,3}{1 \cdot 700} = 0,43 \text{ м}^3$$

3) Площадь фильтрования

$$F_{\text{ант}} = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{сум}}}{n_p \cdot T \cdot v_1}, \text{ м}^2,$$

где  $\alpha = 1,2$  – коэффициент для учета воды на собственные нужды;

$v_1$  – расчетная скорость фильтрования 4-30 м/ч;

$T$  – продолжительность работы каждого фильтра между регенерациями, ч;

$$T = \frac{24}{n_p} - \tau_p, \text{ ч}$$

$$\tau_p = t_{\text{нап}} + t_{\text{пов}} + t_{\text{омы}} = 0,25 \text{ ч} + 1,5 \text{ ч} + 3,25 \text{ ч} \approx 5 \text{ ч}$$

$$T = \frac{24}{1} - 5 = 19 \text{ ч}$$

$$q_{\text{уд}} = 10 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

$$F_{\text{ант}} = \frac{1,2 \cdot 840}{1 \cdot 19 \cdot 30} = 1,77 \text{ м}^2$$

4) По значениям площади и объема ( $W=0,4 \text{ м}^3$ ,  $F=1,77 \text{ м}^2$ ) и высоте слоя анионита  $H=2 \text{ м}$  рассчитывается количество фильтров и принимается типоразмер.

Принимаем фильтр диаметром 1,5 м, высота загрузки 2 м.

Площадь одного фильтра:

$$f = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} = 1,77 \text{ м}^2$$

$$\text{Число фильтров: } N = \frac{F}{f} = \frac{1,77}{1,77} = 1$$

Принимаем 2 фильтра рабочих и 1 резервный.

Общий объем загрузки для 2 рабочих фильтров:

$$W_{\text{общ}} = 2 \cdot f \cdot H = 2 \cdot 1,77 \cdot 2 = 7,08 \text{ м}^3 > W_{\text{ант}} = 0,4 \text{ м}^3$$

5) Проверяется количество рабочих фильтров по площади и объему, при выполнении скорости 4-30 м/ч.

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{35}{2 \cdot 1,77} = 9,89 < 25 \text{ м/ч}$$

условие выполняется.

6) Регенерацию анионита производим 4% раствором  $\text{NaOH}$ .

$a_{\text{уд, NaOH}} = 60-70 \text{ г/г-экв}$ .

## Вторая ступень

- 1) Загружен сильноосновным анионом.

$$E_{pII} = E_{кр} - 0,5 \cdot q \cdot C_{SiO_2^{2-}}, \text{ экв/м}^3,$$

где  $E_{кр}$  – рабочая кремнеемкость анионита, для анионита АВ-17 при истощении анионита до «проскока» в фильтрат  $SiO_2^{2-}$ , мг/л (0,5 мг/л) – 530 г-экв/м<sup>3</sup>;

$q_{уд}$  – удельный расход воды на отмывку,  $q_{уд}=8 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;

$C_{SiO_2^{2-}}$  – содержание кремния в исходной воде, 0,11 г-экв/м<sup>3</sup>

$$E_{pII} = 530 - 0,5 \cdot 8 \cdot 0,11 = 529,56 \text{ экв/м}^3$$

- 2) Необходимый объем

$$W_{AnII} = \frac{\alpha \cdot Q_{сум} \cdot C_{SiO_2^{2-}}}{n_p \cdot E_{pII}}, \text{ м}^3$$

$n_p=1$ ;  $\alpha=1,03$  - коэффициент для учета воды на собственные нужды;

$$W_{AnII} = \frac{1,03 \cdot 840 \cdot 0,11}{1 \cdot 529,56} = 0,18 \text{ м}^3$$

- 3) Задаемся высотой слоя загрузки катионита  $H_{An}=1,5 \text{ м}$ ,  $D=1,0 \text{ м}$ .

- 4) Определяем площадь фильтрования:

$$F_{AnII} = \frac{W_{AnII}}{H_{An}}, \text{ м}^2$$

$$F_{AnII} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \text{ м}^2$$

5) Подбираем диаметр фильтров, количество фильтров, площадь каждого таким образом, чтобы  $W_{общ} > W_{AnII}$

Площадь одного фильтра:

$$f = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,0^2}{4} = 0,78 \text{ м}^2$$

Число фильтров:  $N = \frac{F}{f} = \frac{0,12}{0,78} = 1$ . Принимаем 2 фильтра рабочих и 1 резервный.

- 6) Проверяем общий объем загрузки:

$$W_{общ} = f \cdot H_k = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 = 9,42 \text{ м}^3 > W_{AnII} = 0,18 \text{ м}^3$$

Проверка скорости фильтра:

$$v_{ф} = \frac{Q}{F} = \frac{35}{2 \cdot 0,78} = 22,44 \text{ м/ч (скорость до 25 м/ч)},$$

условие выполняется.

- 7) Регенерацию анионита производим 4% раствором NaOH:

$a_{уд, NaOH} = 60-70 \text{ г/г-экв}$ .

### Третья ступень

Загружен сильноосновным анионитом.

Анионитовые фильтры третьей ступени подбирают по скорости фильтрования до 30 м/ч и высоте загрузки 1,5 м, поэтому в данном случае эти фильтры приняты таких же размеров, что и для второй ступени.

Регенерацию анионита производим 4% раствором NaOH.

#### Определение расхода воды (частично обессоленной) на собственные нужды установки

Расход воды для приготовления регенерирующих растворов:

$$Q_p = \frac{24 \cdot Q_{\text{нзс}}}{10^4} \left( \frac{\sum K \cdot a_1}{b_1} + \frac{\sum A \cdot a_2}{b_2} \right),$$

где  $\sum K$  – сумма катионов в фильтрате анионитовых фильтров I ступени в г-экв/м<sup>3</sup>, принимаемая ориентировочно равной 0,3 г-экв/м;

$\sum A$  – сумма анионов сильных кислот;

$a_1$  – удельный расход 100%-ной кислоты в г/г-экв;

$a_2$  – удельный расход щелочи в г/г-экв;

$b_1$  и  $b_2$  – концентрации регенерирующих растворов в %.

Если принять  $a_1=120$  г/г-экв для 100%-ной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,  $a_2=60$  г/г-экв для едкого натра,  $b_1=1,5\%$  и  $b_2=4\%$ , то

$$Q_p = \frac{24 \cdot 35}{10^4} \left( \frac{0,3 \cdot 120}{1,5} + \frac{0,3 \cdot 60}{4} \right) = 2,39 \text{ м}^3 / \text{сутки}.$$

Расход воды на взрыхление ионита в фильтрах 2 и 3 ступеней (перед их регенерацией)

$$Q_{\text{взр}} = 0,06 \cdot t_{\text{в}} \cdot ((m_1 \cdot n_1 \cdot F_{\text{II1}} \cdot w_1 + m_2 \cdot n_2 \cdot F_{\text{A1}} \cdot w_2 + m_3 \cdot n_3 \cdot F_{\text{H2}} \cdot w_3 + m_4 \cdot n_4 \cdot F_{\text{A2}} \cdot w_4) + (m_5 \cdot n_5 \cdot F_{\text{II3}} \cdot w_5 + m_6 \cdot n_6 \cdot F_{\text{A3}} \cdot w_6)), \text{ м}^3 / \text{сутки}$$

Здесь  $t_{\text{в}}$  – продолжительность взрыхления, принимается равной 15-20 мин;

$n_1, n_2$  и  $n_3$  – число регенераций каждого из катионитовых фильтров I, II и III ступеней за сутки, принимаются  $n_1=1-2$ ,  $n_2=0,25$  и  $n_3=0,05$ ;

$n_4, n_5$  и  $n_6$  – то же, для анионитовых фильтров; принимаются  $n_4=1-2$ ,  $n_5=1-2$  и  $n_6=0,05$ ;

$F_{\text{H1}}, F_{\text{H2}}$  и  $F_{\text{H3}}$  – площади H-катионитовых фильтров I, II и III ступеней в м<sup>2</sup>;

$F_{\text{A1}}, F_{\text{A2}}$  и  $F_{\text{A3}}$  – то же, анионитовых фильтров в м<sup>2</sup>;

$m_1 \dots m_6$  – количество фильтров соответствующих групп;

$w_1 \dots w_6$  – интенсивность взрыхления ионитов соответствующих фильтров в л/сек·м<sup>2</sup>.

В формуле значения  $m_1, n_1, F_{H1}$  и  $m_2, n_2, F_{A1}$  равны нулю, так как для взрыхления ионитов в фильтрах I степени повторно используются отмывочные воды.

$$Q_{\text{всп}} = 0,06 \cdot 15 \cdot ((2 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot 5 + 2 \cdot 1 \cdot 0,78 \cdot 5) + (2 \cdot 0,05 \cdot 3,14 \cdot 5 + 2 \cdot 0,05 \cdot 0,78 \cdot 5)) = 15,85 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

3. Расход воды для отмывки ионитов (при условии отмывки ионитовых фильтров I степени повторно используемыми водами после отмывки фильтров II степени):

$$Q_{\text{отм}} = n_3 \cdot P_{H2} \cdot q_{H2} + n_4 \cdot P_{A2} \cdot q_{A2} + n_5 \cdot P_{H3} \cdot q_{H3} + n_6 \cdot P_{A3} \cdot q_{A3},$$

где  $P_{H2}, P_{H3}$  – объемы катионита в рабочем состоянии в  $\text{м}^3$ ;

$P_{A2}, P_{A3}$  – объемы анионита в рабочем состоянии в  $\text{м}^3$ ;

$q_{H2}, q_{H3}, q_{A2}, q_{A3}$  – удельные расходы отмывочной воды в  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Тогда при  $q_{H2}=8-10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;  $q_{H3}=10-20 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;  $q_{A2}=7-10 \text{ м}^3/\text{м}^3$  и  $q_{A3}=10-12 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

$$Q_{\text{отм}} = 1 \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 10) + 1 \cdot (2 \cdot 0,78 \cdot 1,5 \cdot 8) + 0,05 \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 15) + 0,05 \cdot (2 \cdot 0,78 \cdot 1,5 \cdot 10) = 121,16 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

Из этого количества воды фильтрат анионитовых фильтров II и III ступеней составляет  $7,07+1,17=8,24 \text{ м}^3/\text{сутки}$ .

Суммарный расход частично обессоленной воды на собственные нужды установки

$$\sum Q = Q_p + Q_{\text{всп}} + Q_{\text{отм}} = 2,39 + 15,85 + 121,16 = 139,4 \text{ м}^3 / \text{сутки},$$

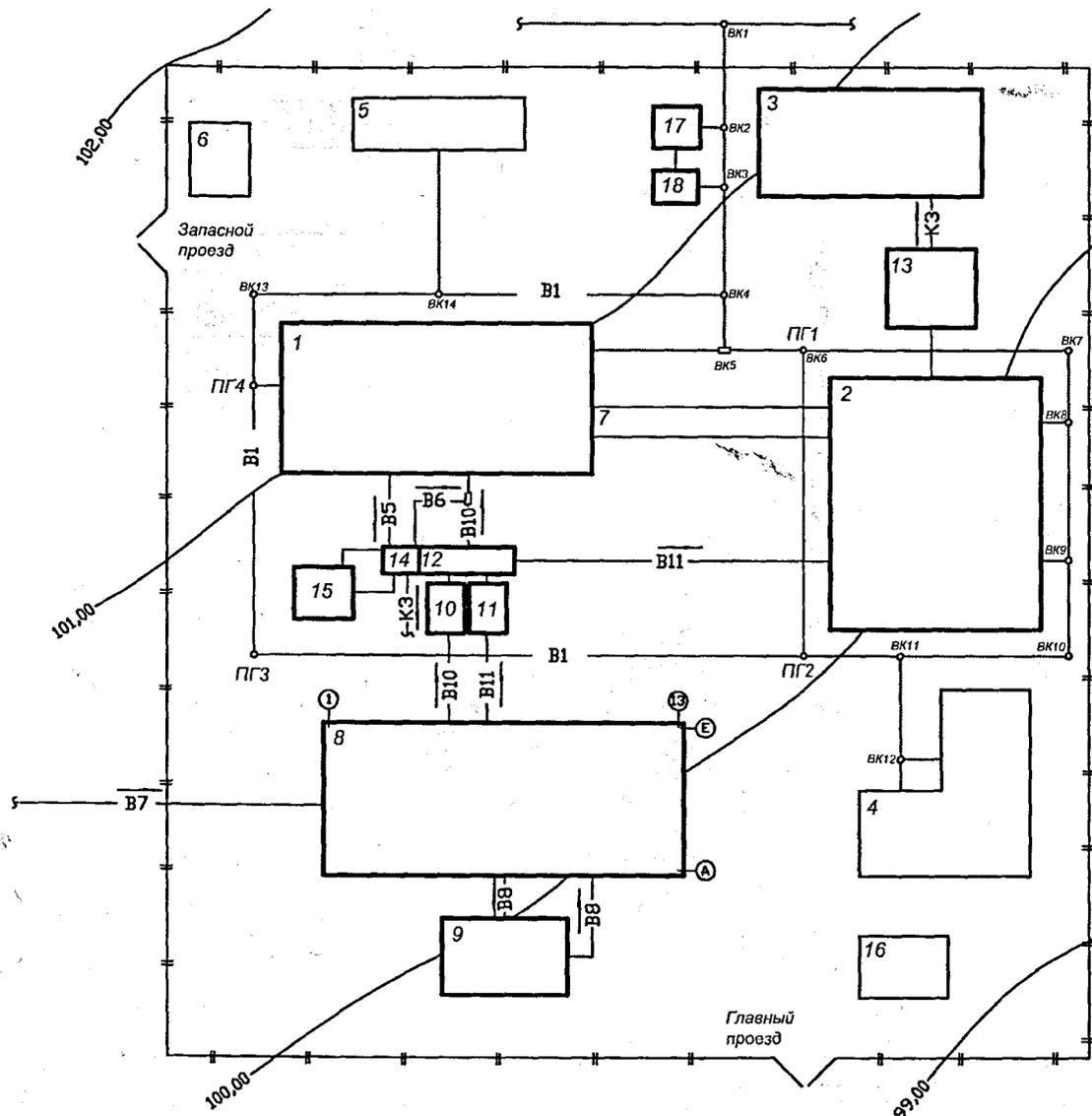
или  $(139,4 \cdot 100) \div 840 = 16,6\%$  полезного расхода; следовательно,  $\alpha_1 = 1,166$ .

Расход фильтрата анионитовых фильтров 2 степени равен  $(8,24 \cdot 100) \div 840 = 0,98\%$ , следовательно,  $\alpha_2 = 1,01$ .

Таким образом, коэффициенты расхода на собственные нужды, принятые в расчете, были намечены правильно.

## ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.04.02.84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
2. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий / Под ред. И.А.Назарова. – М.: Стройиздат, 1977. – 288 с.
3. В.Ф. Кожин. Очистка питьевой и технической воды. – М.: Стройиздат, 1971.
4. Методические указания для выполнения комплексного курсового проекта «Система водоснабжения и водоотведения промышленного предприятия» для студентов специальности Т.19.06.00 по дисциплине «Водное хозяйство промышленных предприятий» для студентов специальности Т.19.06.03». – Брест, 1998.
5. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: издание 2-ое, переработанное и дополненное: учебное пособие. Том 2. Очистка и кондиционирование природных вод. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 496.



Условные обозначения:

Сооружения:

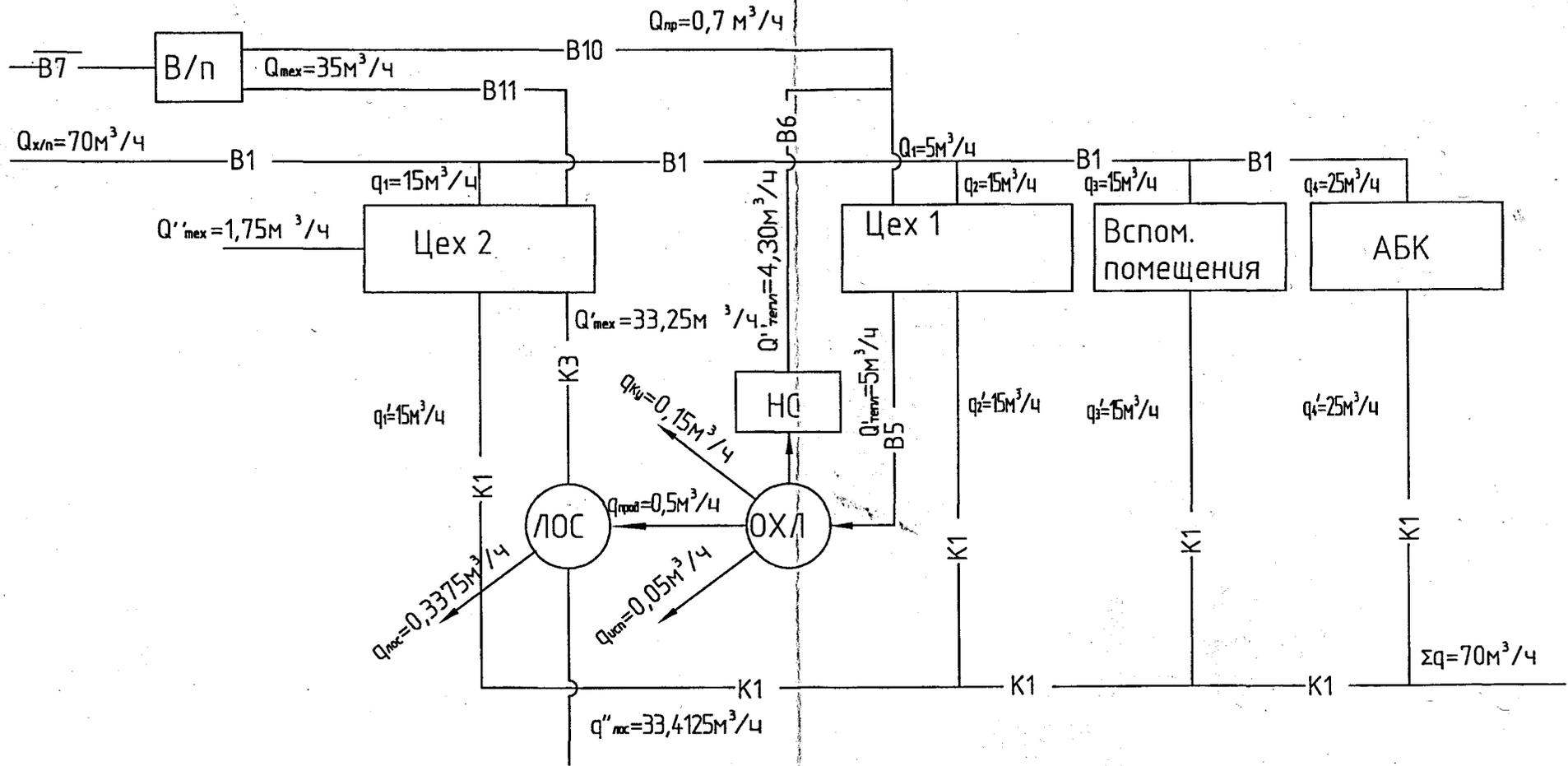
- 1-цех№1
- 2-цех№1
- 3-ЛОС
- 4-АБК
- 5-вспомогательное помещение
- 6-сторожевая будка
- 7-галерея
- 8-станция спецводоподготовки
- 9-резервуар осветленной воды
- 10-резервуар умягченной воды
- 11-резервуар обессоленной воды
- 12-НС технической воды
- 13-усреднитель ПСВ
- 14-НС оборотного водоснабжения
- 15-сооружение для охлаждения воды
- 16-проходная
- 17-резервуар аварийного противопожарного запаса воды
- 18-НС

Сети:

- V1-х/п водопровод
- V5-оборотная вода от п/п на охлаждение
- V6-оборотная вода(подающая)на п/п
- V7-речная вода
- V8-осветленная вода
- V10-глубоко умягченная вода-теплоноситель
- V11-глубоко обессоленная вода-технологическая
- K3-производственная канализация

Рисунок 16. Схема генплана площадки п/п с сетями и сооружениями производственного водоснабжения

# Приложение 1 Пример балансовой схемы производственного водоснабжения



Условные обозначения:

- Q – полезные расходы, м³/ч
- В7 – речная вода
- В10 – глубоко умягченная вода – теплоноситель
- В11 – глубоко обессоленная вода технологическая

- В5 – оборотная вода от п/п на охлаждение
- В6 – оборотная вода (подающая) на п/п
- В1 – х/п водопроводные
- К1 – бытовая канализация
- Q<sub>пр</sub> – подпиточный расход

Баланс:  $Q_0 = Q_2 + Q_2' + q_{прод} + q_{исп} + q_{к.у.}$   
 $35 + 0.7 = 33.25 + 1.75 + 0.5 + 0.05 + 0.15$   
 $35.7 = 35.7$   
 ? $_{потерь} = q_{прод} + q_{исп} + q_{к.у.}$   
 $Q_2 + Q_{пр} - (Q_2 + q_{прод}) = Q_2' + q_{исп} + q_{к.у.}$   
 $35 + 0.7 - (33.25 + 0.5) = 1.75 + 0.05 + 0.15$   
 $1.95 = 1.95$



## Условные обозначения к Приложению 2

Комплекс по сооружению по осветлению, обесцвечиванию и реагентному умягчению воды

1-подача исходной воды; 2-вихревой реактор; 3-напорный осветлительный фильтр; 4-бункер с контактной массой; 5-сброс контактной массы; 6-резервуар умягченной воды; 7,8,9-насосы подачи осветленной воды на промывку и на установки по обессоливанню и умягчению воды.

Коагулянтное хозяйство:

10-растворный бак коагулянта; 11-насос для перекачивания раствора коагулянта; 12-резервуар-хранилище 18-20%-ного раствора коагулянта; 13-расходный бак раствора коагулянта; 14-насос-дозатор раствора коагулянта; 15-бак-раствор; 16-воздуходувка.

Известковое хозяйство:

17-растворный бак известкового молока; 18-насос для перекачивания раствора известки; 19-расходный бак раствора известки; 20-насос-дозатор раствора известки.

Установка по глубокому умягчению воды:

21,22-H и Na-катионитовые фильтры; 23-резервуар сбора глубоко умягченной воды; 24-насос подачи умягченной воды потребителю; 25-резервуар сбора промывных вод с Na-катионитовых фильтров; 26-насосы подачи промывных вод на взрыхление.

Установка по глубокому обессоливанню воды:

27-H-катионитовый фильтр; 28-анионитовый фильтр; 29-вакуумный декарбанизатор; 30-приемный резервуар-регулирующая емкость для дегазированной воды; 31-вакуум-насос; 32-резервуар сбора глубоко обессоленной воды; 33-насос подачи обессоленной воды потребителю; 34,36-резервуары сбора промывных вод от H-катионитовых и анионитовых фильтров; 35,37-насосы подачи промывных вод на взрыхления.

Хозяйство для регенерации фильтров. Солевое хозяйство.

38-растворный бак соли; 39-насос для перекачивания раствора соли; 40-фильтр очистки раствора соли; 41-резервуар-хранилище 25%-го раствора соли; 44-бак рабочего раствора соли для Na-катионитового фильтра; 43,45-насосы подачи регенерационного раствора соли.

Кислотное хозяйство:

42-промежуточный бачок; 46,47-стационарная и железнодорожная цистерны; 48-мерный бак; 49-эжектор.

Содовое хозяйство:

50-насос подачи регенерационного раствора соды; 51-расходный бак раствора соды; 52-насос для перекачивания раствора соды; 53-растворный бак соды; 54-бак-рессивер; 55-воздуходувка.



# Экспликация технологического оборудования к Приложению 3

89

Поз.	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Примечание
1	Смеситель	шт	2	
2	Осветлитель со слоем взвешенного осадка	шт	2	
3	Промежуточный бак	шт	1	
4	Насос для подачи воды на фильтр	шт	1	
5	Напорный фильтр	шт	3	
6	Резервуар осветленной воды	шт	2	
7	Насос для подачи осветленной воды на промывку фильтров	шт	2	
8	Насос для подачи воды на установку по глубокому умягчению	шт	2	
9	Насос для подачи воды на установку по глубокому обессоливанию	шт	2	
10	Насос для подачи воды на подпитку хозяйства	шт	2	
11	Отстойник промывных вод	шт	1	
12	Растворный бак коагулянта	шт	3	
13	Насос для перекачивания раствора коагулянта	шт	2	
14	Резервуар-хранилище раствора коагулянта	шт	2	
15	Расходный бак раствора коагулянта	шт	2	
16	Насос-дозатор раствора коагулянта	шт	2	
17	Бак-растворитель	шт	2	
18	Воздуходувка	шт	2	
19	Растворный бак известкового молока	шт	2	
20	Воздуходувка	шт	1	
21	Расходный бак известкового молока	шт	2	
22	Насос перекачивания известкового молока	шт	2	
23	Емкость для хранения серной кислоты	шт	2	
24	Вакуум-насос	шт	1	
25	Бак-мерник	шт	1	
26	Эжектор	шт	1	
27	Емкость для хранения едкого натра	шт	4	
28	Вакуум-насос	шт	4	
29	Бак-мерник	шт	4	
30	Эжектор	шт	4	
31	Растворный бак соли	шт	2	
32	Насос для перекачивания раствора соли	шт	2	
33	Резервуар-хранилище 25% раствора соли	шт	2	
34	Бак рабочего раствора соли	шт	2	
35	Насос подачи регенерационного раствора соли	шт	2	
37	Na-катионитовый фильтр	шт	2	
38	Резервуар для сбора глубокоумягченной воды	шт	1	
40	Резервуар для сбора промывной воды Na-катионитового фильтра	шт	2	
41	Насос для подачи промывной воды на взрыхление	шт	6	
42	Дегазатор	шт	1	
43	Приемный резервуар декарбонизированной воды	шт	1	
44	Вакуум-насос	шт	2	
45	H-катионитовый фильтр I, II, III ступени	шт	1,1,1	
46	Анионитовый фильтр I, II, III ступени	шт	1,1,1	
47	Резервуар для сбора глубокообессоленной воды	шт	2	
48	Резервуар для сбора промывных вод H-катионитовых фильтров	шт	3	

Учебное издание

Составители:  
*Волкова Галина Александровна*  
*Андрюк Светлана Васильевна*  
*Янчилин Павел Фёдорович*

## **Методические указания**

для выполнения курсовых проектов и практических занятий  
для студентов специальности  
1-70 04 03 - дневной и заочной форм обучения по дисциплине  
**«Технология специальной водоподготовки  
в промышленном водоснабжении»**

Ответственный за выпуск: Янчилин П.Ф.  
Редактор: Строкач Т.В.  
Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.  
Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано к печати 16.09.2009 г. Формат 60x84 1/16. Бумага «Снегурочка».  
Гарнитура Arial Narrow. Усл. п.л. 4,4. Уч.-изд. л. 4,75. Тираж 100 экз. Заказ № 703.  
Отпечатано на ризографе Учреждения образования  
«Брестский государственный технический университет».  
224017, Брест, ул. Московская, 267.