

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства  
Кафедра «Санитарно-технические системы»

Утверждено на заседании кафедры  
«Санитарно-технические системы»  
«12» января 2021 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой



Р.А. Ковалев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по выполнению курсового проекта и курсовой работы**  
**по дисциплине (модулю)**  
**«Водоснабжение промышленных предприятий»**  
**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**08.03.01 – "Строительство"**

с профилем  
**"Водоснабжение и водоотведение"**

Форма(ы) обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-02-21

Тула 2021 год

## Разработчик(и) методических указаний

Белоусов Р.О., доцент, к.т.н., доцент  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



---

(подпись)

## **1. Цели и задачи.**

Целью является закрепление углубление и систематизация теоретических знаний, полученных студентом на лекциях, практических и лабораторных работах по курсу "Водоснабжение промышленных предприятий» с получением навыков, связанных с проектированием и эксплуатацией рациональных систем промышленного водоснабжения и водоотведения, оценкой эффективности использования воды при принятых проектных решениях.

Во время проектирования студент дополнительно изучает действующую нормативную, справочную и другую техническую литературу с целью использования последних достижений науки и техники в проекте. В результате выполнения курсового проекта и курсовой работы студент получает навыки самостоятельного конструирования и расчета систем промышленного, хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения промышленного предприятия с учетом развития систем водоотведения на предприятии.

## **2. Тематика**

Для студентов специальности "Водоснабжение и водоотведение" рекомендуется выполнение и разработка комплексного проекта по водоснабжению промышленного предприятия с единым генпланом и данными по водопотреблению и водоотведению.

Объектами курсового проектирования являются промпредприятия, имеющие три цеха различного назначения, котельную, мастерские, столовую, гараж и административно-бытовой корпус.

## **3. Исходные данные**

Каждому студенту выдается генеральный план промышленного предприятия с наличием сети городского хоз-питьевого водопровода и возможностью лимитированного отбора воды из сети горводопровода, а также поверхностный источник для производственного водоснабжения. Исходные данные для проектирования принимаются студентами по заданию в соответствии с номером студента по журналу группы.

Задание на проектирование и генплан принимается единый для проектов по водоснабжению и по водоотведению.

Форма бланков задания для проектирования систем водоснабжения и водоотведения промпредприятия приведена ниже.

Форма задания.

Исходные данные:

Генплан предприятия N\_\_\_\_\_ Масштаб 1:5000

/ приложение /

Месторасположение предприятия ( \_\_\_\_\_ )  
\_\_\_\_\_ ) в г. \_\_\_\_\_ обл \_\_\_\_\_

1. Водопотребители

1.1 Цех N 1

1.2 Цех N 2

1.3 Цех N 3

1.4 Административный корпус

1.5 Гараж

1.6 Котельная

1.7 Столовая

1.8 Мастерские

1.9 \_\_\_\_\_

2. Расходы на пожаротушение

Таблица 1

Наименование зданий	Степень огнестойкости	Категория пожарной опасности	Объем зданий тыс.м <sup>3</sup>	Этажность зданий
Цех N 1	I	Д	320	2
Цех N 2	I	А	180	1
Цех N 3	У	В	45	2
Админ.корпус	II	Б	70	3
Гараж	IV	Г	10	1
Котельная	III	Д	40	2
Столовая	II	Б	3	1
Мастерская	У	Г	5	1

3. Полив проездов и газонов

Таблица 2

Вид полива	Площадь полива	Кол-во поливок
3.1 Механизиров. мойка	0,7	1
3.2 Полив вручную	0,6	1
3.3 Полив газонов	0,1	1

#### 4. Количество работающих на предприятии

Таблица 3

Наименование цехов	Смены	Количество работающих		Пользуются душами %	Количество Человек на душевую сетку
		В горячем цехе	В остальных цехах		
1	2	3	4	5	6
Цех N 1	1			60	7
	2			45	8
	3			20	5
Цех N 2	1			50	10
	2			40	8
	3			10	6
Цех N 3	1			30	12
	2			30	9
	3			15	5
Администра- тивный корпус	1			5	12
Гараж	1			40	8
	2			40	8
Котельная	1			60	9
	2			35	6
	3			15	5
Столовая	1			50	9
	2			20	9
Мастерские	1			15	6

#### 5. Расход технологической воды

Таблица 4

Наименование Цехов	Смены	Расход воды м <sup>3</sup> /сут		Напор м.в.ст.		Цели Исполз. Технол. Воды	Режим   расходования воды
		Техни-Ческая	Питьев. качества	Техни-ческая	Питьев. качества		
1	2	3	4	5	6	7	8
Цех N 1	1 2 3					Охлажд.	равном.   внутри   смены
Цех N 2	1 2 3					промывка	-   
Цех N 3	1 2 3					раствор промывка охлажд.	-   
Админ. Корпус	1					-	-   
Гараж	1 2					мойка промывка	-   
Котель- Ная	1 2 3					парообр. нагрев	-   
Столо- Вая	1 2					мойка охлажд.	-   
Мастер- Ские	1					промывка	

6. Требования к качеству технической воды и характеристика производственных сточных вод.

Таблица 5

Показатели Качества	Единица Измерен.	Цех №1	Цех №2	Цех №3	Гараж	Котельная	Мастерск.
Взвешенные Вещества	Мг/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Жесткость Общая	Мг-экв/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Щелочность	Мг-экв/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Солесодерж	Мг/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Температ.	оС	_____	_____	_____	_____	_____	_____
РН воды	-	_____	_____	_____	_____	_____	_____
БПК5	Мг/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
ПАВ	Мг/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Цианиды	Мг/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Нефтепро- Дукты	Мг/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
NH4+	Мг/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
P2O5	Мг/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Си2+	Мг/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Ni2+	Мг/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Cr6+	Мг/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Zn2+	Мг/л	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Таблица 5 продолжение

Показатели	Един.	Цех №1	Цех №2	Цех №3	Гараж	Котельн.	Мастерск.
------------	-------	--------	--------	--------	-------	----------	-----------

	измер.						
Режим поступления ст. вод	Кн						
Потери воды в технологическом процессе	%						

## 7. Источники водоснабжения.

7.1. Тип источника \_\_\_\_\_ категория водоема \_\_\_\_\_

7.2. Отметки ГВВ, м \_\_\_\_\_  
ГНВ \_\_\_\_\_

7.3. Расход воды источника  $Q_r$ , м<sup>3</sup>/с \_\_\_\_\_

7.4. Скорости в паводок, м/с \_\_\_\_\_  
в межень -/- \_\_\_\_\_

7.5. Толщина льда, м \_\_\_\_\_

7.6. Взвешенные наносы, кг/м<sup>3</sup> \_\_\_\_\_

7.7. Гидравлическая крупность наносов, см/с \_\_\_\_\_

7.8. Высота волны, м \_\_\_\_\_

## 7.9. Показатели качества воды в источнике

Показатели качества	Единица измерения	Количество
7.9.1. Взвешенные вещества		
в паводок	мг/л	_____
в межень	-/-	_____
7.9.2. рН		_____
7.9.3. Жесткость общая	мг экв/л	_____
7.9.4. Щелочность	-/-	_____
7.9.5. Соледержание	мг/л	_____
7.9.6. Температура летн	оС	_____
зимн	-/-	_____
7.9.7. Растворенный кислород	мг/л	_____
7.9.8. БПК5	мг/л	_____
7.9.9. Железо общ	мг/л	_____
7.9.10. Са+	мг/л	_____
7.9.11. Mg+	мг/л	_____
7.9.12. HCO-	мг/л	_____
7.9.13. SO2-	мг/л	_____
7.9.14. Cl-	мг/л	_____
7.9.15. _____		_____
8. Глубина заложения грунтовых вод, м		_____
9. Характеристика грунтовых вод		_____
10. Подача воды на ПП из коммунального водопровод		
10.1. Расход воды до,	м3/сут	_____
10.2. Режим поступления воды	Кн	_____
10.3. Свободный напор на вводе ПП, м.в.ст.		_____

Варианты заданий

№ пп	Табл.3	Табл. 4	Табл.5 цех 1	Табл.5 цех 2	Табл.5 цех 3	Табл.5 гараж	Табл.5 котельн	Табл.5 мастерск	Табл.6
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	10	3	16	16	4	5	6	7	1
17	8	9	17	17	10	11	12	13	2
18	14	15	18	18	1	2	4	5	3
19	12	13	14	15	6	7	8	9	4
20	6	7	8	9	10	11	12	13	5
21	14	15	16	17	2	3	4	5	6
22	7	8	9	1	3	4	5	6	8
23	8	7	10	2	13	12	11	12	9
24	3	4	5	6	7	8	9	10	7
25	1	2	3	4	5	6	7	8	10
26	10	11	12	14	15	7	8	1	12
27	13	12	11	10	9	8	3	4	13

Таблицы заданий на проектирование по вариантам см. приложение 1.

### **Краткие методические указания**

Задачами расчета и проектирования систем водоснабжения промышленных предприятий являются:

- выбор рациональной системы и схемы хозяйственно-питьевого и противопожарного водопровода промпредприятия, исходя из требуемых напоров в цехах и подразделениях ПП;
- определение расчетных расходов и таблицы водопотребления на хоз-питьевые и технологические нужды ПП воды питьевого качества из городского водопровода;
- определение режима забора воды из горводопровода, исходя из данного отпущенного лимита воды и гарантийного напора с составлением схемы присоединения хоз-питьевого водопровода ПП к городской сети;
- построение совмещенного графика работы насосов с определением емкости резервуара водонапорной башни и противопожарных емкостей;
- расчет водопроводной сети питьевого качества ПП на расчетные случаи с подбором диаметров и определением потерь напора на участках;
- определение требуемых напоров в сети хоз-питьевого водопровода с определением марок насосов и режимов их работы;
- подбор насосов подкачки в цехах и определение режимов их работы и необходимых аккумулирующих емкостей;
- рассмотрение целей использования воды на технологические нужды цехов, группирование потребителей, аналогично используемых воду на технологические нужды, выбор систем производственного водоснабжения для отдельных цехов ПП и системы производственного водоснабжения для всего промпредприятия на основании требований качества воды, надежности и места расположения потребителей;
- выбор схем производственного водоснабжения цехов и ПП в целом исходя из принятой системы производственного водоснабжения, требуемых и остаточных напоров, режимов работы цехов и размещения их на Генплане ПП;
- предварительный выбор блоков основных сооружений для цехов и для всего ПП, трассировка водопроводных сетей промводопровода на Генплане ПП;
- определение необходимых расходов воды на технологические нужды подразделений ПП, определение потерь воды из отдельных элементов системы промводопровода;
- составление балансовой схемы производственного водоснабжения;
- составление схемы и расчет элементов оборотной системы цеха №1 производственного водоснабжения ПП для воды 1 категории;
- составление схемы и расчет элементов оборотной системы цеха №2(цеха №3) для воды второй категории;
- составление технологической схемы умягчения или обессоливания воды для цеха №3 или котельной с расчетом элементов системы;
- расчет сооружений при прямоточном или повторном использовании воды в производстве (при необходимости);

- расчет общезаводских очистных сооружений при заборе воды из поверхностного источника с составлением высотной-технологической схемы очистки;
- гидравлический расчет сетей производственного водоснабжения;
- расчет и подбор насосного оборудования НС-2 и РЧВ;
- оценка эффективности использования воды на ПП по принятой схеме производственного водоснабжения.

Вода на промышленных предприятиях расходуется на хозяйственно-питьевые нужды работников предприятий, поливку территорий, пожаротушение и технические (производственные) нужды.

Чаще всего хозяйственно-питьевое водоснабжение предприятий обеспечивается из водопровода населенного пункта, где проживают работающие на предприятиях. Определение расходов воды на хозяйственно-питьевые нужды и проектирование водопровода осуществляются в соответствии с рекомендациями СП 31.13330 [1]. Если городской водопровод обеспечивает подачу расчетного (секундного) расхода воды, то на предприятии устраивается разводящая водопроводная сеть, из которой вода подается в цеха и другие здания. Если городской водопровод не обеспечивает подачу расчетных (секундных) расходов на предприятие, а удовлетворяет только суточное водопотребление, то на предприятии должны быть установлены накопительные емкости, насосная станция и разводящая водопроводная сеть.

Расходы воды на поливку территорий предприятий определяются исходя из норм расходования воды [1] и площади поливаемых территорий. На поливку может использоваться вода из хозяйственно-питьевых водопроводов или из систем производственного водоснабжения, транспортирующих незагрязненную воду.

Расходы воды для пожаротушения на промышленных предприятиях определяются в зависимости от категории производства по пожарной опасности, степени огнестойкости и объема зданий [1]. Подача воды на пожаротушение может осуществляться либо из хозяйственно-питьевых водопроводов, либо из систем производственного водоснабжения, транспортирующих незагрязненную воду и

охватывающих всю территорию промышленного предприятия, либо из специально создаваемых систем противопожарного водоснабжения.

Технологическое (производственное) водопотребление является основным как по количеству потребляемой воды, так и по роли воды в обеспечении основных технологических процессов. Вода используется в производстве для разнообразных целей. В процессе потребления вода может нагреваться и насыщаться разнообразными примесями.

Исходя из необходимости создания оборотных и бессточных систем производственного водоснабжения при анализе технологического водопотребления следует одновременно производить анализ водоотведения по режиму водоотведения, располагаемому остаточному напору и загрязнениям, получаемым водой в процессе ее использования.

Все многообразие использования воды на технологические нужды можно систематизировать в ряд категорий, имеющих общие признаки и общие подходы к разработке систем водоснабжения.

*Вода первой категории использования* применяется в качестве теплоносителя для охлаждения оборудования и продукта в теплообменных аппаратах (без контакта с продуктом). В процессе потребления вода нагревается и практически не загрязняется. К этой категории использования воды относится охлаждение конденсаторов турбин в теплоэнергетике, металлургических печей в металлургии, компрессоров, холодильных машин и др.

*Вода второй категории использования* осуществляет поглощение и транспортирование примесей в производственных процессах без тепловыделения. При потреблении вода насыщается разнообразными примесями, но не нагревается. К этой категории использования воды относится промывка продукта и продукции, например, в текстильной промышленности, гальваническом производстве, электронике и др.

*Вода третьей категории использования* участвует одновременно в поглощении и транспортировании примесей и в охлаждении продукта и оборудования. В процессе потребления вода насыщается примесями и нагревается.

К этой категории использования воды относится мокрая газоочистка, охлаждение прокатных станов и машин разливки стали и чугуна в металлургии и др.

*Вода четвертой категории использования* применяется для растворения реагентов в химической технологии, красителей в текстильной промышленности, электролитов и др. При этом образуются технологические растворы, которые в сток сливаться не должны.

*Вода пятой категории использования* входит в состав готовой продукции, например, в пищевой промышленности (консервы, алкогольные и безалкогольные напитки и др.). Вода этой категории непосредственно в сток не поступает.

*Вода шестой категории использования* применяется в качестве теплоносителя в теплоэнергетике и теплоснабжении. Такая вода после нагрева поступает в теплотехнический контур и в сток не сбрасывается.

Наибольшее распространение получили первые три категории использования воды, для которых предусматривается создание оборотных и замкнутых систем водоснабжения.

Системы водоснабжения последних трех категорий прямоточные и включают в свой состав сооружения для получения воды требуемого качества, насосные станции и водопроводные сети для подачи воды потребителям в соответствии с режимом водопотребления и требуемыми напорами.

Для разработки систем водоснабжения в качестве исходных параметров, характеризующих водопотребление, по каждому водопотребителю в задании приводятся следующие сведения:

требования к качеству воды,

требуемые количества воды и режим недопотребления;

потребный напор;

степень надежности подачи воды.

Соответственно для характеристики водоотведения даны:

качество отработанной воды (стока);

количество отводимой воды и режим водоотведения;

напорные характеристики (остаточный напор) стока.

При проектировании системы промышленного водоснабжения должны учитываться возможность сокращения сброса сточных вод в водоем путем максимального использования воды созданием оборотных систем или систем с последующим использованием воды.

Системы оборотного водоснабжения могут быть в виде отдельных циклов оборота для каждого цеха или ряда цехов, а также общей для всего предприятия. Для выбора оборотной системы на стадии проектирования, сначала рассматривают размещение цехов на генеральном плане, затем группируют потребителей воды аналогично использующих воду в производстве (охлаждение, поглощение, гидротранспорт и т.д.) и предъявляющие к качеству воды, её свойствам и напору идентичные требования. Одновременно с этим устанавливается качество отработанной воды по физико-химическим показателям и её остаточный напор, это определяет метод очистки воды перед повторным использованием как в оборотной системе водоснабжения цехов так и последовательном использовании воды в других производствах. Далее оценивается надёжность получения воды потребителем, необходимого количества и требуемого напора.

По первому признаку (группировка потребителей) и по второму (надёжность) получают расположение основных блоков сооружений системы оборотного водоснабжения (НС, градирни и т.д.). Делают начертание на плане линий водопроводов и сети, определяют узлы переключения потоков воды, средства автоматизации для оборудования и трубопроводов. Согласно рекомендациям

СниП и Союзводоканалпроекта оптимальный радиус обслуживания потребителей одной оборотной системы 380-450 м.

При определении места расположения водопроводных сооружений учитывается фактор одновременности или разноимённости работы производственных объектов. Далее учитывается возможность расширения и реконструкции предприятия.

После выполнения перечисленных этапов в проектировании составляется балансовая схема водоснабжения на которой указываются не только системы водоснабжения, но и расходы воды. При неравномерном водопотреблении воды различными потребителями в течении суток балансовая схема составляется на суточный расход воды. При этом ширина потоков воды в балансовой схеме должна соответствовать их расходу воды.

После этого производится расчет элементов систем водоснабжения с учетом максимального расхода воды и возможности работы системы при неравномерности водопотребления в течение суток, подбор диаметров трубопроводов, марки насосов и другого оборудования.

При составлении балансовой схемы водопотребления следует иметь ввиду, что нормальное функционирование любой оборотной системы водоснабжения промышленного предприятия возможно лишь при обеспечении балансов: по количеству воды; по количеству тепла; по количеству веществ (примесей воды).

Количество воды в системе оборотного водоснабжения должно быть постоянным. Все потери воды должны компенсироваться добавочной (подпиточной) водой. Потери воды в оборотной системе включают:

$O_{\text{пп}}$  - безвозвратное потребление воды в производстве;

$Q_{\text{ун}}$  - потери воды на капельный унос в охладителях;

$Q_{\text{исп}}$ -потери воды на испарение в охладителях

$Q_{\text{ос}}$  -потери воды на очистных сооружениях;

$O_{\text{прод}}$  - организованный сброс воды из системы (продувка), для поддержания допустимого содержания растворенных примесей.

Безвозвратные потери воды в производстве зависят от характера технологического процесса, роли воды в его осуществлении и задаются технологами производства .

Потери воды на испарение в охладителях, могут быть определены из выражения

$$Q_{\text{исп}} = K_{\text{исп}} \Delta t q_{\text{охл}}$$

где  $K_{\text{исп}}$  - коэффициент потерь воды на испарение, который для брызг-гальных бассейнов и градирен зависит от температуры охлаждающего воздуха, измеренного сухим термометром, и может быть принят следующим:

$$K_{\text{исп}} = 0,0012 \text{ при } 10 \text{ }^\circ\text{C}, K_{\text{исп}} = 0,0014 \text{ при } 20 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$K_{\text{исп}} = 0,0015 \text{ при } 30 \text{ }^\circ\text{C} \text{ и } K_{\text{исп}} = 0,0016 \text{ при } 40 \text{ }^\circ\text{C};$$

$\Delta t$  - перепад температур, разность между температурой нагретой I, и охлажденной II воды;  $q_{\text{охл}}$  - количество воды, подаваемой в охладитель, м<sup>3</sup>/ч.

Потери воды на капельный унос зависят от типа охладителя и могут быть приняты для башенных градирен, оборудованных водоуловителями, равными 0,1 % от количества подаваемой воды, для вентиляторных градирей - 0,2 %.

Потери воды на очистных сооружениях зависят от технологической схемы очистки воды, состава сооружений и могут быть определены технологическим расчетом. Для предварительных расчетов потери воды при одноступенчатой схеме отстаивания могут быть приняты -2%, при одноступенчатой схеме фильтрования 2-4%, при двухступенчатой схеме осветления воды 4-6% от расхода воды.

В оборотных системах, где вода в процессе производства только нагревается, но не загрязняется, результате испарения в циркуляционной воде повышается концентрация минеральных солей. При определённой концентрации соли могут выпадать из циркуляционной воды, особенно при нагревании в теплообменных аппаратах. Это резко снижает коэффициент теплопередачи и ухудшает эксплуатационные показатели.

Для предотвращения выпадения минеральных солей из системы, производится постоянная продувка оборотной системы, т.е. удаление части циркуляционной воды. Это производится в следующих случаях. Потери воды в оборотном цикле  $Q_{исп.}$ ,  $Q_{ун.в.}$ ,  $Q_{п/п}$  компенсируются подачей свежей добавочной. Восполнение убыли из системы добавочной водой с меньшим солесодержанием вызывает определённое разбавление и освежение оборотной воды, но это возможно только при очень малой жёсткости и солесодержании добавочной воды.

Если такого естественного разбавления не достаточно, то приходится часть оборотной воды сбрасывать и взамен добавлять такое же количество свежей воды. Разумеется, сброс и добавка целесообразны тогда, когда солесодержание и карбонатная жёсткость добавочной воды меньше, чем допустимая  $J_k$  и солесодержание добавочной воды и если позволяет мощность водоисточника.

Если качество воды источника недостаточно для нормальной работы оборотной системы, предусматривается обработка добавочной или оборотной воды согласно Таблице 1.

Табл.1.

Методы обработки охлаждающей воды при нагреве от 40 до 60 °С при охлаждении на градирнях и брызгальных бассейнах.

Ж <sub>к</sub> (Щ) природной воды, мг экв/л		Методы обработки воды	Условия
реки, водохранилища средней полосы.	подземные источники		
1	2	3	4
< 2,5	1,5	Освежение оборотной воды	

2,5-4	1,5-3	1) Подкисление добавочной воды; 2) Допустимо фосфатирование добавочной и оборотной воды при обязательном хлорировании; 3) Возможна рекарбонизация оборотной воды.	1) -- 2) -- 3) При наличии дымовых газов, содержащих CO <sub>2</sub> и невысоком K <sub>y</sub>
2,5-5	1,5-5	1) Подкисление добавочной воды при условии ограничения концентрации ионов SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ; 2) Рекарбонизация оборотной воды.	1) – 2) При наличии дымовых газов и невысоком K <sub>y</sub>
4-6	3,5	Подкисление добавочной воды и фосфатирование оборотной воды	
> 4-5	-	Умягчение добавочной воды известью с осветлением	Если вода и без того нуждается в осветлении
-	> 4-5	Умягчение части или всей добавочной воды Na-катионированием или H-катионированием с «голодной» регенерацией.	Если вода не нуждается в предварительном осветлении

Для воды рек и водохранилищ северных районов, а также воды с горно-ледниковым питанием параметры по щёлочности воды следует повысить на 1 мг экв/л. При нагревании воды в производстве до 40 °С с температурным перепадом до 5 °С, величина щёлочности может быть увеличена на 0,5 мг экв/л. При применении подкисления воды необходимо, чтобы содержание ионов Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> в оборотной воде не превышало 500 и 350 мг/л, а общая щёлочность этой воды была не менее 2 мг экв/л, во избежание коррозионных процессов.

Для расчетов оборотной системы без обработки добавочной воды необходимо знать предельные концентрации солей ( $J_{\text{к}}^{\text{макс.цирк}}$ ) оборотной воды при которых отложения солей в системе не происходит.

Для предварительных расчетов СНиП (1) рекомендует производить обработку воды при условии

$$\text{Щ}_{\text{доб}} \cdot K_y \geq 3?$$

где K<sub>y</sub>- коэффициент упаривания, принимаемый в пределах 1,5...2 .

При использовании добавочной воды без обработки  $\text{Щ}_{\text{доб}} = \text{Ж}_{\text{к}}^{\text{доб}}$ .

Для более точных расчетов предельная карбонатная жесткость может быть определена по ее составу и температуре с перманганатной окисляемостью менее 25 мг/л из уравнения

$$\text{Ж}_{\text{к}}^{\text{мах.цирк.}} = \frac{8 + \frac{O}{3} \frac{t_{\text{вых}} - 40}{5,5 + \frac{O}{7}} - \frac{2,8 \text{Ж}_{\text{н.к.}}^{\text{доб}}}{6 - \frac{O}{7} + \left(\frac{t_{\text{вых}} - 40}{10}\right)^3}}{2,8},$$

где  $O$  – окисляемость добавочной воды;

$\text{Ж}_{\text{н.к.}}^{\text{доб}}$  – некарбонатная жесткость добавочной воды;

$t_{\text{вых}}$  – температура воды выходящая из теплообменника.

Количество воды, сбрасываемой из системы для предотвращения образования карбонатных отложений в системе, будет

$$Q_{\text{прод}} = \frac{C_{\text{доб}} Q_{\text{исп}}}{C_{\text{мах.цирк}} - C_{\text{доб}}} - (Q_{\text{ун}} + Q_{\text{пп}}),$$

где  $C_{\text{доб}} = \text{Ж}_{\text{доб}}^{\text{к}}$ ;  $C_{\text{мах.цирк}} = \text{Ж}_{\text{мах.цирк}}^{\text{к}}$ .

Количество добавочной воды в систему для компенсации потерь составляет

$$Q_{\text{доб}} = \frac{C_{\text{мах.цирк}} Q_{\text{исп}}}{C_{\text{мах.цирк}} - C_{\text{доб}}} \quad \text{или} \quad Q_{\text{доб}} = Q_{\text{исп}} + Q_{\text{ун}} + Q_{\text{прод}} + Q_{\text{пп}},$$

Если в результате расчетов оказывается, продувочный расход  $Q_{\text{прод}} > 4\%$  расхода циркуляционной воды в системе, то необходима обработка добавочной или оборотной воды подкислением, рекарбонизацией фосфатированием или комбинированную фосфатно-кислотную обработку.

В оборотной системе необходимо выбрать и произвести расчет охладителя оборотной воды, определить необходимость обработки хлором и медным купоросом для предотвращения биообрастания сооружений и трубопроводов.

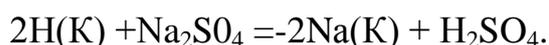
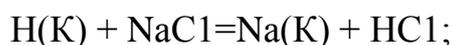
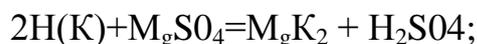
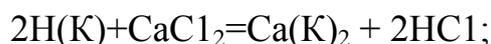
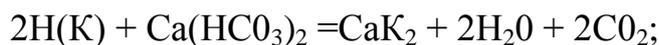
В котельной на основании требований к качеству исходных данных обработки воды на общезаводских сооружениях определяется технологическая схема умягчения воды, определяется расход воды подаваемых на станцию

умягчения с учетом собственных нужд, нужд котельной и других цехов предприятия. Затем производится расчет сооружений умягчения воды.

Методика расчета катионитовых фильтров для котельных приведена ниже.

### **Н-катионирование**

Метод Н-катионирования основан на пропуске обрабатываемой воды через катионит, отрегенированный кислотой. В процессе фильтрования катионы, содержащиеся в обрабатываемой воде, обмениваются на ионы водорода, содержащиеся в катионите, при этом протекают следующие реакции:



Наряду с вышеприведенными реакциями протекает процесс вытеснения из катионита ранее поглощенных ионов  $\text{Na}^+$  ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , вследствие чего катионит по ионам  $\text{Na}^+$  истощается быстрее, чем по ионам  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , которые, являясь 2-валентными, сорбируются катионитом лучше. Из-за неодинаковой сорбируемости ионов различной природы их «проскок» в фильтрат происходит неодновременно.

При Н-катионировании природных вод до момента «проскока» натрия в Н-катионированной воде содержатся только кислоты (см. реакции), при этом кислотность фильтрата получается равной суммарной концентрации хлоридов и сульфатов в обрабатываемой воде.

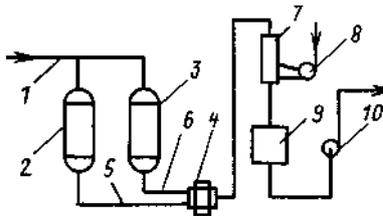


Рис. 1.4. Схема параллельного Н — Na-катионирования: 1 — исходная вода; 2 — Н-катионитные фильтры; 3 — Na-катионитные фильтры; 4 — смеситель; 5 — Н-катионированная вода; 6 — Na-катионированная вода; 7 — декарбонизатор; 8 — вентилятор к декарбонизатору; 9 — бак декарбонизированной воды; 10 — насос

При работе Н-катионитного фильтра от момента «проскока» натрия до момента «проскока» жесткости в фильтрате происходит нарастание концентрации натрия и соответственно снижается кислотность воды.

В зависимости от требований к качеству обработанной воды технология Н-катионирования видоизменяется. Так, например, Н-катионирование с удалением из обрабатываемой воды натрия осуществляется в схемах частичного или полного химического обессоливания воды. Для снижения щелочности обрабатываемой воды возможно осуществить схему параллельного Н-Na-катионирования (рис. 1.4), однако благодаря ряду преимуществ более широкое применение нашла схема Н-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров и последующим Na-катионированием (рис. 1.).

Применение Н-катионирования в различных схемах обработки воды и рекомендации к их применению даны в табл. 1.

Таблица 1.

**Н-катионирование в различных схемах обработки воды**

Технологическая обработка воды	Показатель отключения кат. фильтра	Результат обработки воды	Рекомендации к применению
Н-катионирование с	Повышение	$Щ_0 < 0,7 - 1,5$ мг-	Таблица 3

«голодной» фильтров и Фильтрованием буферные рующиеся фильтры	щелочности фильтрата	$J_{\text{Co}} = J_{\text{Co}} + (0,7 - M, 5)$ мг-экв/л; снижение содержания	
Последовательное H -Na- «голодной» H-катионитных	То же	$J_{\text{Co}} < 0,7$ мг-экв/л; $= 0,01$ мг-экв/л; солесодержания	Схема используется подготовке добавка к тельной воде паровых лов, испарителей и т.
Параллельное H- катионирование	Повышение общей сти	$J_{\text{Co}} = 0,1$ мг-экв/л; $= 0,4$ мг-экв/л солесодержания. личии Na- фильтра второй $J_{\text{Co}} > 0,01$ мг-экв/л	Применяется, когда по таву исходной воды можно осуществить с «голодной» Пригодна для мало-и средне минерализо- ванных вод при содержании
Частичное кое обессоливание	«Проскок» жесткости	$J_{\text{Co}} < 0,1$ мг-экв/л; жение жение	Схема используется, не требуется удалять ионы натрия
Частичное химиче- ское обессоливание	Снижение кислотност фильтрата	Снижение взаимное части в соответствии с необходимым	
Полное химическое обессоливание	«Проскок» ионов натрия	Полное удаление нов, анионов и кремниевой	В котельных среднего давления не при-

### **H-катионитные фильтры в схеме параллельного H — Na-катионирования**

Все технологические схемы H- Na-катионирования воды преследуют цель умягчать воду и одновременно снижать ее щелочность и солесодержание, а также удалять образующуюся углекислоту.

Схему параллельного H- Na-катионирования следует применять в случаях, когда нельзя использовать технологию H-катионирования с «голодной»

регенерацией фильтров (не подходит состав исходной воды) или требуется более глубокое снижение щелочности (до 0,3—0,4 мг-экв/л).

H- и Na-катионитные фильтры в этой схеме работают до проскока катионов жесткости, жесткость фильтрата после них составляет 0,1 мг-экв/л.

При смешении потоков H-катионированной воды, содержащей сильные кислоты  $H_2SO_4$  и  $HCl$ , с Na-катионированной водой, содержащей  $NaHCO_3$ , происходят реакции нейтрализации:



Остаточная щелочность при смешении 0,3-0,4 мг-экв/л.

Свободная углекислота, образовавшаяся при нейтрализации и в процессе H-катионирования, удаляется в декарбонизаторе.

Расходы воды, подаваемой на H- и Na-катионитовые фильтры, в схеме параллельного H-Na-катионирования определяется по формулам:

Расход воды, подаваемый на H-катионитовые и Na –катионитовые фильтры,

$$Q^H = Q_y (Щ_0 - Щ_{ост}) / (A + Щ_0) \quad (1)$$

$$Q^{Na} = Q_y - Q^H,$$

где  $Q^H$  и  $Q^{Na}$  – производительность H- и Na –катионитовых фильтров;

$Q_y$  - производительность установки, учитывающей требуемой потребителями максимальный расход воды, с учетом собственных нужд каждой из последующих стадий обработки воды, м<sup>3</sup>/ч;

$Щ_{ост}$  -требуемая щелочность умягченной воды, мг-экв/л;

$A$  - суммарное содержание в исходной воде анионов сильных кислот (сульфатов, хлоридов, нитратов и др.).

Технологические данные для расчета H-катионитовых фильтров приведены в табл.2.

Табл.2

## Технологические данные для расчета Н-катионитных фильтров

Показатель	Н-катионирование	
	обычное	противоточно
Высота слоя катионита, м	2,5	3,3
Допустимая скорость фильтрования, м/ч	5-30	
Рекомендуемая скорость фильтрования, как — максимальная при регенерации (ров), при жесткости обрабатываемой воды,		
5	20 (30)	
10	15(25)	
15	10 (20)	
Потери напора при фильтровании, м	По табл. 3	
Взрыхляющая промывка катионита:		
интенсивность, л/(м <sup>2</sup> -с)	По табл. 4	
продолжительность, мин	То же	
Количество регенераций каждого (кроме фильтра в сутки при наименее воды в зависимости от степени водительности ВПУ и марки катионита	Не менее 1 и не более 3	
Регенерация катионита:		
удельный расход серной кислоты, г/г-экв	По графику рис.2 СНиП	
концентрация раствора при загрузке: катионитом КУ-2-8 %		
сульфоуглем	Нарастающей 1 -3 - 6 1 — 1,5	
Скорость пропуска регенерационного	Не менее 10	
Отмывка катионита ':	Осветленной водой	Н-катиони- рованной
удельный расход, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> :		
для сульфоугля	5	—
для КУ-2	6,5	—
скорость пропуска отмывочной воды, м/ч	Не менее 10	
Общая продолжительность регенерации, ч	По расчету	

## Примечания:

1. Применение нарастающей концентрации кислоты (от 1 до 6 %) позволяет увеличить емкость поглощения катионита на 30-35%.

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

3.Первую половину отмывочной воды следует направлять на нейтрализацию и в накопители, вторую половину - в баки для взрыхления катионита.

Расчет фильтров и трубопроводов (учитывая колебания качества исходной воды ) следует производить при наибольшей нагрузке на H-катионитовые фильтры, наибольшей щелочности воды Що и наименьшем содержании в ней анионов сильных кислот А, при наибольшей нагрузке на Na-катионитовые фильтры - в период наименьшей щелочности воды и наибольшем содержании в ней анионов сильных кислот.

Объем катионита  $W_H$  в м<sup>3</sup>, в водород-катионитовых фильтрах определяется по формуле

$$W_H = 24 Q^H (Ж_о + C^{Na}) / n_p E^H_{раб}, \quad (2)$$

Объем катионита  $W^{Na}$  в м<sup>3</sup>, в натрий-катионитовых фильтрах определяется по формуле

$$W_{Na} = 24 Q^{Na} Ж_о / n_p E^{Na}_{раб},$$

$Q^H$  – расход воды, подаваемой на водород-катионитовые фильтры м<sup>3</sup>/ч

$Ж_о$  – общая жесткость исходной воды, г-экв/м<sup>3</sup>;

$E^H_{раб}$  – рабочая обменная жесткость водород-катионита, г-экв/м<sup>3</sup>;

$E^{Na}_{раб}$  – рабочая обменная емкость катионита при натрий-катионировании, г-экв/м<sup>3</sup>;

$n_p$  - число регенераций каждого фильтра в сутки, принимаемое в пределах от одного до трех,

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

Рабочая обменная емкость катионита при H-катионировании определяется по формуле

$$E^H_{раб} = a_H E_{полн} - 0,5 q_{уд} C_K, \quad (3)$$

$a_n$  – коэффициент эффективности регенерации Н-катионитового фильтра, принимаемый по табл.3;

$C_{\kappa}$  - общее содержание в воде катионитов кальция, магния, натрия и калия, г-экв/л;

$Q_{уд}$  - удельный расход воды на отмывку катионита после регенерации, принимаемый равным 4-5 м<sup>3</sup> воды на 1 м<sup>3</sup> катионита;

$E_{полн}$  - паспортная полная обменная емкость катионита в нейтральной среде, г-экв/м<sup>3</sup>, при отсутствии данных по табл. 1 раздел «Na-катионирование»

Табл.3.

Удельный расход серной кислоты на регенерацию катионита, г/г-экв, рабочей обменной емкости	50	60	70	80	90	100	110	120
Коэффициент эффективности регенерации Н-катионита, $a_n$	0,68	0,71	0,75	0,78	0,82	0,85	0,86	0,87

Продолжение табл.3

$q_{уд}$	130	140	150	200	250
$a_n$	0,89	0,9	0,91	0,92	0,93

Площадь водород-катионитовых и натрий-катионитовых фильтров определяются по формуле (4)

$$F_n = W_n H_n ; \quad F_{Na} = W_{Na} H_{Na} \quad (4)$$

где  $H_n$  – высота слоя н-катионитового фильтра, принимается по табл. 2.

Потеря напора в Н-катионитовых фильтрах , интенсивность взрыхления и скорость фильтрования принимается по табл. 3.

Табл. 3

Технологические данные по катионитам, используемым при Н-катионировании

Показатель	Данные при Н-катионировании		
	обычном	противо-точном	ступенчато-противо-точном
Потери напора, м, вод. ст, при загрузке катионитами марок:			
Сульфуголь СК-1 при скорости фильтрования м/ч			
10.....	5	7	10
20.....	6	8	12
30.....	7	10	14
КУ-2-8 при скорости фильтрования, м/ч:			
10.....	10	-	20
20.....	12	-	24
30.....	14	-	28

Число рабочих фильтров принимается по формуле (5)

$$N_{\phi}^H = F_H / f_{\phi}^H, \quad (5)$$

где  $f_{\phi}^H$  – площадь фильтрования Н-катионитового стандартного фильтра, принимаемая по табл. 5 раздел На-катионирования.

Диаметр и площадь фильтрования стандартного фильтра выбирается из условия, чтобы количество рабочих фильтров было не менее двух, кроме резервного, который в расчете не учитывается. Резервные На-катионитовые фильтры в схеме Н-На –катионирования не устанавливаются, но предусматривается возможность использования резервных Н-катионитовых фильтров в качестве На—катионитовых, для чего к двум-трем должен быть предусмотрен подвод регенерационного раствора соли.

Скорость фильтрования Н-катионитовых фильтров определяется из уравнений:

нормальная — при работе всех фильтров

$$V_H = Q_y / f_{\phi} N_{\phi}; \quad (6)$$

максимальная — при регенерации одного из фильтров

$$V_{max} = Q_y / f_{\phi} (N_{\phi} - 1), \quad (7)$$

где  $V_n$  и  $V_{max}$  – соответственно нормальная и максимальная скорости фильтрования, м/ч. Нормальная и максимальная скорости фильтрования не должна превышать пределов, указанных в табл. 2. .

Правильность выбора числа регенераций при принятых параметрах и числе Na-катионитовых фильтров проверяется следующей формулой .

$$n_p = 24 Q_y^H (J_o - J_{ост}) / f \phi^H H_n E_{раб}^H N_\phi \quad (8)$$

где  $n_p = 1-3$  - число регенераций каждого фильтра;

$J_o$  и  $J_{ост}$  - жесткость соответственно исходной воды и остаточная после H-катионитовых фильтров, мг-экв/л;

$H^H$  – высота слоя катионита в выбранном стандартном фильтре площадью  $H^H$

Регенерация H-катионитового фильтра осуществляется 1-1,5% раствором серной кислоты. Допускается разбавление серной кислоты до нужной концентрации непосредственно перед фильтром–эжектором. Расход серной кислоты для регенерации одного H-катионитового фильтра в схеме параллельного H-Na-катионирования определяется по формуле (9)

$$G_{к}^p = a_n f \phi^H H_n E_{раб}^H / 1000, \quad (9)$$

где  $a_n$  – удельный расход кислоты на 1г-экв рабочей обменной емкости катионита H-катионитного фильтра , принимаемый по Рис.2 (стр.112 СНиП 2.04.02-84) в зависимости от жесткости исходной воды и требуемой жесткости фильтрата.

$G_{к}^p$  – расход 100% -ной кислоты в кг на регенерацию одного H-катионитового фильтра

Расход 100% -ной серной кислоты в сутки  $G_{к}^{сут}$  определяется по формуле (10)

$$G_{к}^{сут} = G_{к}^p n_p N_\phi, \quad (10)$$

Технической серной кислоты  $G_{к.т.}^{сут}$

$$G_{к.м.}^{сут} = G_{к}^{сут} 100 / P, \quad (11)$$

где  $G_{к}^{сут}$  - суточный расход 100% кислоты кг/сут на регенерацию фильтров;

$P \geq 92\%$  - содержание серной кислоты в техническом продукте.

1) Расход осветленной воды на регенерацию одного Н-катионитового фильтра складывается из:

а) расхода воды на взрыхление катионитовой загрузки фильтра

$$q_{взр} = I f_{\phi}^H 60 t_{взр} / 1000 \quad (12)$$

где  $I$  – интенсивность взрыхляющей промывки фильтров, л/ (с·м<sup>2</sup>) (Табл. 4 раздел На-катионирование);

$t_{взр}$  – продолжительность взрыхляющей промывки 20-30 мин.

б) расход воды на приготовление регенерационного раствора кислоты

$$q_{р.р} = G_{к}^p \cdot 100 / 100 b_{к} \rho_{р.р}. \quad (13)$$

где  $b_{к}$  - концентрация регенерационного раствора, 1-1,5 %;

$\rho_{р.р}$  – плотность регенерационного раствора, т/м<sup>3</sup>.

в) расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации  $q_{отм}$

$$q_{отм} = q_{уд} f_{\phi} H_{к}, \quad (14)$$

где  $q_{уд}$  – удельный расход воды на отмывку катионита, м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> катионита принимается:

сульфоуголь при «голодном» режиме регенерации – 5м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

то же при одноступенчатом Н-катионировании - 5м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

то же при двухступенчатом Н-катионировании - 10м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

катионит КУ-2 при одноступенчатом Н-катионировании – 6,5м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

то же при двухступенчатом Н-катионировании - 12 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

2) Расход воды на одну регенерацию фильтра, без использования отмывочных вод на взрыхляющую промывку

$$q_{с.н.} = q_{взр} + q_{р.р} + q_{отм} \quad (15)$$

То же с учетом использования отмывочной воды на взрыхляющую промывку филь

$$q_{с.н.} = q_{p.p} + q_{отм} \quad (16)$$

3) Среднечасовой расход воды  $q^ч_{с.н.}$  на собственные нужды Н-катионитовых фильтров

$$q^ч_{с.н.} = q_{с.н.} n_p N_{\phi} / 24, \quad (17)$$

или в процентах от производительности станции умягчения

$$P^ч_{с.н.} = q^ч_{с.н.} 100 / Q^H_y \quad (18)$$

Время между регенерациями фильтра  $T_{\phi}$  определяется из уравнения

$$T^H_{\phi} = 24 / n_p - t^H_{рег} / 60 \quad (19)$$

где  $n_p$  - количество регенераций каждого катионитового фильтра в сутки;

$t^H_{рег}$  - время регенерации фильтра, мин, определяемое по формуле (20)

$$t^H_{рег} = t^H_{взр} + t^H_{p.p} + t^H_{отм} \quad (20)$$

где  $t^H_{взр}$  - продолжительность взрыхляющей промывки по табл.2;

$t^H_{p.p}$  - время пропуска регенерационного раствора через Н-катионитовый фильтр, мин, зависит от концентрации регенерационного раствора и скорости пропуска его через катионит ( $V = 10$  м/ч), определяется по формуле

$$t^H_{p.p} = 6 q_{p.p} / f^H_{\phi} \quad (21)$$

$t^H_{отм}$  - время отмывки фильтра от продуктов регенерации, мин, при скорости  $V = 10$  м/ч

$$t^H_{отм} = 6 q^H_{отм} / f^H, \quad (22)$$

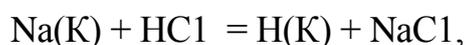
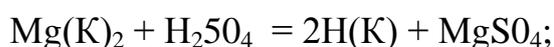
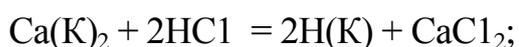
Количество одновременно регенерируемых фильтров  $N_{o.p}$  определяется по уравнению (23)

$$N_{o.p} = n_p \cdot N \cdot t^H_{рег} / 24 \quad (23)$$

## Н-катионирование с «голодной» регенерацией фильтров

Н-катионирование в схеме с «голодной» регенерацией нашло широкое применение в котельных установках, когда требуется разрушение гидрокарбонатных ионов со снижением только карбонатной жесткости (щелочности) до 0,7-1,5 мг-экв/л. При обычном Н-катионировании регенерация проводится с удельным расходом кислоты, в 2,5—2 раза больше теоретически необходимого, который отвечает процессу эквивалентного обмена катионов между раствором и катионитом. Избыток кислоты, не участвующий в реакциях обмена ионов, сбрасывается из фильтра вместе с продуктами регенерации. При «голодной» регенерации Н-катионитного фильтра удельный расход кислоты равен его теоретическому удельному расходу, т. е. 1 г-экв/г-экв, или в пересчете на граммы для  $H_2SO_4$  — 49 г/г-экв. Все ионы водорода регенерационного раствора при этом полностью задерживаются катионитом, вследствие чего сбрасываемый регенерационный раствор и отмывочные воды не содержат кислоты. В отличие от обычных Н-катионитных фильтров, в которых весь слой катионита при регенерации переводится в Н-форму, при «голодном» режиме регенерируются, т. е. переводятся в Н-форму, только верхние слои, а нижние слои остаются в солевых формах и содержат катионы  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  и  $Na^+$ .

В верхних слоях катионита, отрегенированного «голодной» нормой кислоты, при работе фильтра имеют место все реакции ионного обмена. В нижележащих, неотрегенированных слоях катионита ионы водорода образовавшихся минеральных кислот обмениваются на ионы  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  и  $Na^+$  по уравнениям



Следовательно происходит нейтрализация кислотности воды и при этом восстанавливается ее некарбонатная жесткость, а зона слоя, содержащего ионы  $H^+$ , смещается постепенно книзу. Т.е. происходит как бы регенерация, а затем вновь образуются те же соли, что и в исходной воде. Таким образом, можно считать, что при «голодной» дозе кислоты на регенерацию происходит только разрушение связанной в гидрокарбонаты углекислоты и удаляются связанные с гидрокарбонатами катионы.

Так как содержащаяся в воде угольная кислота является слабой, в реакциях ионного обмена она может участвовать лишь после удаления сильных кислот. Поэтому в верхних слоях образовавшийся  $\text{CO}_2$  находится в виде растворенного в воде газа и проходит «транзитом» неотрегенированные слои катионита и только когда в фильтрате уже нет сильных кислот, некоторое количество ионов водорода угольной кислоты обменивается в нижних слоях на натрий, чем обуславливается появление вторичной щелочности Н-катионированной воды. В самых нижних слоях фильтра этот процесс завершиться до полного восстановления карбонатной жесткости не успевает. Поэтому фильтрат имеет малую карбонатную жесткость (численно она равна щелочности) и содержит много углекислоты. К моменту окончания рабочего цикла фильтра ионы водорода, введенные в катионит при регенерации, полностью удаляются из катионита в виде  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , которая находится в равновесии с дегидратированной формой  $\text{CO}_2$  ( $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ).

Получение при Н-катионировании с «голодной» регенерацией фильтров с минимальной щелочностью (при отсутствии сброса кислой воды при регенерации и кислого фильтрата в процессе Н-катионирования) зависит от качества исходной воды и расхода кислоты на регенерацию. Повышение расхода кислоты на регенерацию сверх оптимального приводит к получению в какой-то период кислого фильтрата; недостаточная доза кислоты ведет к повышению щелочности фильтрата и к снижению емкости поглощения катионита. .

При непостоянстве качества исходной воды, неточном соблюдении рекомендаций по применению рассматриваемой технологии Н-катионирования во избежание колебаний щелочности и проскоков кислого фильтрата после Н-катионитных фильтров с «голодной» регенерацией в схеме ВПУ устанавливаются буферные нерегенерирующиеся фильтры с высотой слоя катионита 2 м и скоростью фильтрования до 40 м/ч. Буферные фильтры как бы увеличивают нерегенерируемый слой Н-катионитового фильтра, предохраняя фильтрат от проскоков кислоты, создавая большую надежность работы установки, обеспечивая более полное использование обменной емкости катионита. К буферным фильтрам не допускается подвод

регенерационного раствора кислоты; взрыхляющая промывка осуществляется осветленной исходной водой. Кроме того, получение постоянной величины щелочности после Н-катионитовых фильтров с «голодной» регенерацией достигается путем составления соответствующего графика совместной работы и регенерации установленных фильтров (обычно не менее трех фильтров кроме буферных).

Разработанная Н. П. Субботиной (МЭИ) в пятидесятые годы технология Н-катионирования с «голодной» регенерацией предназначена для обработки природных вод гидрокарбонатного класса. В гидрохимии к водам этого класса принято относить воды, в которых из числа главных анионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) наибольшую концентрацию, выраженную в мг-экв/л, имеет ион  $\text{HCO}_3^-$ . Воды около 80 % рек СССР принадлежат к гидрокарбонатному классу.

В процессе Н-катионирования с «голодной» регенерацией происходит частичное умягчение воды и существенное снижение ее щелочности; в результате удаления карбонатной жесткости достигается уменьшение общего солесодержания воды; концентрация углекислоты увеличивается на величину снижения щелочности. На эффект очистки воды влияет присутствие в исходной воде ионов натрия. Когда концентрация натрия невелика, общая жесткость фильтрата по величине близка к некарбонатной жесткости исходной воды и незначительно изменяется на протяжении рабочего цикла фильтра, так же как и общая щелочность фильтрата, которая составляет 0,3—0,5 мг-экв/л. Когда в исходной воде много натрия, щелочность фильтрата от начала рабочего цикла снижается, затем возрастает и в среднем за цикл составляет 0,7—0,8 мг-экв/л; в начале и конце рабочего цикла получается глубокоумягченный фильтрат, появление некарбонатной жесткости наблюдается в средней части фильтроцикла.

**Таблица 1. Область применения Н-катионирования с «голодной» регенерацией**

Исходная вода гидрокарбонатного класса	Рабочая обменная емкость катионитов (КБ-4), г-экв/м	Удельный расход серной кислоты на регенерацию	Щелочность обработанной воды, мг-экв/л	Примечание

Слабо- и средне-минерализованная вода $0 < K < 1, 1 > A > >$	300 (600)	49	0,3—0,5	В течение фильтроцикла щелочность фильтрата изменяется незначительно
Средне- и высоко-минерализованная вода $K > 1, 1 < A < 10$	250 (500)	49	0,7—1,5	Средняя щелочность за фильтроцикл не менее 0,7—0,8 мг-экв/л, жесткость появляется в средней части фильтроцикла, а затем быстро снижается

Примечание: 1. Для исходных вод с  $A < 0,3$  осуществление Нг нецелесообразно;

2. Для исходных вод с  $A > 10$  применение Нг возможно, если потребитель допускает остаточную щелочность выше 1 мг-экв/л; доза кислоты на регенерацию при этом будет 50-60 г/г-экв.

Если для ионного состава исходной воды ввести обозначения для соотношения концентраций катионов и анионов в виде выражений

$$K = \frac{Na^+}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})} = \frac{Na^+}{Жо} \quad (1)$$

$$A = \frac{HCO_3^-}{(Cl^- + SO_4^{2-})}, \quad (2)$$

где  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  — концентрации в воде соответственно ионов натрия, кальция и магния, мг-экв/л;  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  — концентрации в воде соответственно бикарбонатов, хлоридов и сульфатов, мг-экв/л;  $Жо$  — общая жесткость исходной воды, мг-экв/л, то условия применения Н-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров определяются данными, приведенными в табл. 1.

**Расчет Н-катионитных фильтров в схеме Н-катионирования с «голодной» регенерацией.** Установив возможность применения рассматриваемой схемы для данной исходной воды по скорости фильтрования, подбирают диаметр стандартного Н-катионитного фильтра.

Объем катионита  $W_H$  в м<sup>3</sup>, в водород-катионитовых фильтрах определяется по формуле

$$W_H = 24 Q^H (Ж_о + C^{Na}) / n_p E_{раб}^H \quad (3)$$

$Q^H$  — расход воды, подаваемой на водород-катионитовые фильтры, м<sup>3</sup>/ч

$J_0$  – общая жесткость исходной воды, г-экв/м<sup>3</sup>;

$E_{\text{раб}}^H$  – рабочая обменная жесткость водород-катионита при «голодной» регенерации по табл. 1, г-экв/м<sup>3</sup>;

$n_p$  – число регенераций каждого фильтра в сутки, принимаемое в пределах от одного до трех,

$C^{\text{Na}}$  – концентрация в воде натрия, г-экв/м<sup>3</sup>

(4) Площадь водород-катионитовых фильтров определяются по формуле

$$F_H = W_H H_H ; \quad (4)$$

где  $H_H$  – высота слоя Н-катионитового фильтра, принимается по табл. 2 (см. расчет Н-катионирование).

Потеря напора в Н-катионитовых фильтрах, интенсивность взрыхления и скорость фильтрования принимается по табл. 2. (см. расчет Н-катионирование).

Число рабочих фильтров принимается по формуле (5)

$$N_{\phi}^H = F_H / f_{\phi}^H ,$$

(5)

где рекомендуемая и максимальная скорости фильтрования определяются по формулам соответственно

нормальная — при работе всех фильтров

$$V_H = Q_y / f_{\phi} N_{\phi} ;$$

(6)

максимальная — при регенерации одного из фильтров

$$V_{\text{max}} = Q_y / f_{\phi} (N_{\phi} - 1),$$

(7)

где  $V_H$  и  $V_{\text{max}}$  – соответственно нормальная и максимальная скорости фильтрования,

Правильность выбора числа регенераций при принятых параметрах и числе Н-катионитовых фильтров с «голодной» проверяется следующей формулой .

$$n_p = \frac{24 Q_y (J_k - J_k^{ост})}{f_\phi^n H_n E_{раб}^H N_\phi} \quad (8)$$

где  $n_p = 1-3$  - число регенераций каждого фильтра;

$J_k$  и  $J_k^{ост}$  - карбонатная жесткость соответственно исходной воды и остаточная после Н-катионитовых фильтров, принимаемая в зависимости от требований к обработанной воде и качеству исходной воды равной 0,7 – 1,5 мг-экв/л;  
 $H^n$  – высота слоя катионита в выбранном стандартном фильтре площадью  $f_\phi^n$

Расход 100 %-ной серной кислоты на одну регенерацию Н-катионитного фильтра при «голодной» регенерации кг, определяется по уравнению

$$G_k^p = 49 f_\phi^n H_n E_{раб}^H / 1000, \quad (9)$$

где 49 – удельный расход кислоты при «голодной» регенерации, г/г-экв;

$G_k^p$  – расход 100%-ной кислоты в кг на регенерацию одного Н-кат. фильтра.

Расход 100% -ной серной кислоты в сутки  $G_k^{сум}$  определяется по формуле

$$G_k^{сум} = G_k^p n_p N_\phi, \quad (10)$$

Технической серной кислоты  $G_{к.т.}^{сум}$

$$G_{к.т.}^{сум} = G_k^{сум} 100/b_k, \quad (11)$$

где  $G_k^{сум}$  - суточный расход 100% кислоты кг/сут на регенерацию фильтров;

$b_k \geq 92\%$  - содержание серной кислоты в техническом продукте (концентрация кислоты).

1) Расход осветленной воды на регенерацию одного Н-катионитового фильтра складывается из:

а) расхода воды на взрыхление катионитовой загрузки фильтра

$$q_{\text{взр}} = I f_{\phi}^{H} 60 t_{\text{взр}} / 1000$$

(12)

где  $I$  – интенсивность взрыхляющей промывки фильтров, л/ (с·м<sup>2</sup>) (Табл. 4 раздел Na-катионирование);

$t_{\text{взр}}$  – продолжительность взрыхляющей промывки 20-30 мин.

б) расход воды на приготовление регенерационного раствора кислоты

$$q_{p.p} = G_{\kappa}^p \cdot 100 / 100 b_p \rho_{p.p.}$$

(13)

где  $b_p$  - концентрация регенерационного раствора, 0,7-1 %;

$\rho_{p.p.}$  – плотность регенерационного раствора, т/м<sup>3</sup>.

в) расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации  $q_{\text{отм}}$

$$q_{\text{отм}} = q_{\text{уд}} f_{\phi} H_{\kappa}$$

(14)

где  $q_{\text{уд}}$  – удельный расход воды на отмывку катионита, м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> катионита принимается для сульфогля при «голодном» режиме регенерации – 5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

3) Расход воды на одну регенерацию фильтра, без использования отмывочных вод на взрыхляющую промывку

$$q_{\text{с.н.}} = q_{\text{взр}} + q_{p.p} + q_{\text{отм}}$$

(15)

То же с учетом использования отмывочной воды на взрыхляющую промывку фильтра

$$q_{\text{с.н.}} = q_{p.p} + q_{\text{отм}}$$

(16)

3) Среднечасовой расход воды  $q_{\text{с.н.}}^{\text{ч}}$  на собственные нужды H-катионитовых фильтров

$$q_{\text{с.н.}}^{\text{ч}} = q_{\text{с.н.}} n_p N_{\phi} / 24, \quad (17)$$

или в процентах от производительности станции умягчения

$$P^u_{c.n.} = q^u_{c.n.} 100 / Q^H_y \quad (18)$$

Время между регенерациями фильтра  $T_\phi$  определяется из уравнения

$$T^H_\phi = 24 / n_p - t^H_{рег} / 60 \quad (19)$$

где  $n_p$  - количество регенераций каждого катионитового фильтра в сутки;

$t^H_{рег}$  - время регенерации фильтра, мин, определяемое по формуле (20)

$$t^H_{рег} = t^H_{взр} + t^H_{p.p} + t^H_{отм} \quad (20)$$

(20)

где  $t^H_{взр}$  - продолжительность взрыхляющей промывки по табл.2( расчет Н-катионирования);

$t^H_{p.p}$  - время пропуска регенерационного раствора через Н-катионитовый фильтр, мин, зависит от концентрации регенерационного раствора и скорости пропуска его через катионит ( $V = 10$  м/ч), определяется по формуле

$$t^H_{p.p} = 6 q_{p.p} / f^H_\phi \quad (21)$$

$t^H_{отм}$  - время отмывки фильтра от продуктов регенерации, мин, при скорости  $V = 10$  м/ч

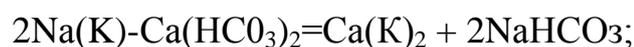
$$t^H_{отм} = 6 q^H_{отм} / f^H, \quad (22)$$

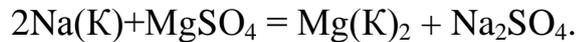
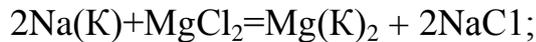
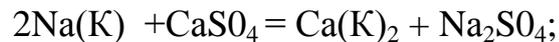
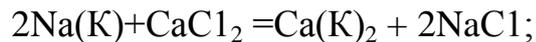
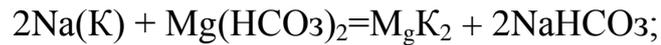
Количество одновременно регенерируемых фильтров  $N_{o.p}$  определяется по уравнению (23)

$$N_{o.p} = n_p \cdot T^H_{рег} / 24 \quad (23)$$

### Na-катионирование

Этот метод обработки воды основан на пропуске обрабатываемой воды через Na-форму катионита, для чего предварительно катионит регенерируется поваренной солью (NaCl). При Na-катионировании воды протекают следующие реакции:





Как видно из приведенных реакций, из обрабатываемой воды удаляются катионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , а в обрабатываемую воду поступают ионы  $\text{Na}^+$ , анионный состав воды при этом не изменяется.

Одноступенчатым Na-катионированием можно получить воду с остаточной жесткостью до 0,1 мг-экв/л, однако для получения более глубокоумягченной воды (с остаточной жесткостью 0,01—0,02 мг-экв/л) требуется существенно увеличивать удельный расход соли на регенерацию фильтра, причем необходим тщательный контроль за «проскоком» жесткости. В схеме двухступенчатого Na-катионирования все эти недостатки устраняются и надежно обеспечивается остаточная жесткость фильтрата менее 0,01 мг-экв/л.

Число ступеней катионирования определяется требованиями к обработанной воде; так, для паровых экранированных котлов, где требуется глубокое умягчение воды, целесообразно применение схемы двухступенчатого Na-катионирования; для горячего водоснабжения, если требуется частичное умягчение воды, достаточно одной ступени катионирования.

Na-катионирование применяют для умягчения подземных вод с мутностью не более 5—8 мг/л и окисляемостью не более 15 мг/л  $\text{O}_2$  и для вод, прошедших предварительную обработку (коагуляцию — осветление или коагуляцию — известкование — осветление). Технологические данные для расчета Na-катионитных фильтров даны в табл. 1,4 и 5 в соответствии с указанными данными в СНиП 2.04.02—84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

Исходными данными для расчета Na-катионитных фильтров являются производительность установки (с учетом расхода воды на собственные нужды последующих стадий обработки), общая жесткость обрабатываемой воды и остаточная жесткость фильтрата.

При одноступенчатом катионировании после первой ступени остаточная жесткость должна отвечать требованиям потребителя, при двухступенчатом катионировании она принимается равной 0,1 мг-экв/л.

Расчет Na-катионитных фильтров первой ступени начинают обычно с определения объема катионита  $Wk$  по формуле

$$Wk = 24 Q_y Ж_0 / n_p E_{раб}^{Na} \quad (1)$$

где  $Q_y$  – расход умягченной воды, м<sup>3</sup>/ч;

$Ж_0$  – общая жесткость исходной воды, г-экв/м<sup>3</sup>;

$E_{раб}^{Na}$  – рабочая обменная емкость катионита при натрий катионировании, м<sup>3</sup>/ч;

$n_p$  – число регенераций каждого фильтра в сутки, принимаемое в пределах от одного до трех

в зависимости от общей жесткости исходной воды и рабочей обменной емкости катионита;

Технологическая характеристика ионообменных материалов приведена в таблице 1.

Табл. 1.

Технологическая характеристика ионообменных материалов.

Марка ионита	Размер зерен, мм	Насыпная масса, т/м <sup>3</sup>		Полная обменная емкость, г-экв/м <sup>3</sup>
		товарного продукта	в набухшем состоянии	
Катиониты				

Сульфоуголь 1-го сорта	0,5 – 1,2	0,67 – 0,7	-	500
крупный СК-1	0,25-0,7	0,69 – 0,79	-	570
мелкий СМ-1	0,3 – 2,0	0,6 – 0,73	0,33	650
Катионит КУ-1	0,315 –	0,7 – 0,88	0,34	1700
Катионит КУ-2-8	1,25	0,68 -0,82	0,17 – 0,33	2800
Катионит КБ-4-П2	0,25 – 1,0			
Аниониты				
Анионит АН-31	0,4 – 2,0	0,72 – 0,75	0,31	1500
Анионит АВ-17-8	0,355 - 1,25	0,74	0,33	800

Примечание: 1. Сильноосновной катионит Ку-2-8 работоспособен при температуре до 120-130°C, стоек к кислотам, щелочам, органическим продуктам.

2. Сильноосновной анионит АВ-17-8 может работать в кислой, нейтральной и щелочной средах при  $t < 50^{\circ} \text{C}$ , обычно используется для удаления кремниевой кислоты при химическом обессоливании.

Рабочая обменная емкость катионита при Na-катионировании определяется по формуле

$$E_{\text{раб}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \beta_{\text{Na}} E_{\text{полн}}^{\text{Na}} - 0,5q_{\text{yo}} \mathcal{J}_o, \quad (2)$$

Где  $\alpha_{\text{Na}}$  - коэффициент эффективности регенерации Na-катионита, учитывающий неполноту регенерации катионита, принимаемый по табл. 2;

$\beta_{\text{Na}}$  - Коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита по  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  вследствие частичного задержания катионов  $\text{Na}^{+}$ , принимаемый по табл.3, в которой  $C_{\text{Na}}$  - концентрация натрия в исходной воде в г-экв/м<sup>3</sup>;

Табл.2.

Удельный расход поваренной соли на регенерацию катионита, г/г-экв рабочей обменной способности	100	150	200	250	300
--	-----	-----	-----	-----	-----

Коэффициент эффективности регенерации катионита $\alpha_{Na}$	0,62	0,74	0,81	0,86	0,9
---	------	------	------	------	-----

Табл.3.

$C_{Na}/Жо$	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

$E_{полн.}^{Na}$  – полная обменная емкость катионита, определяемая по заводским паспортным данным. При отсутствии таких данных при расчетах принимать по данным табл. 1;

$q_{уд}$  – удельный расход воды на отмывку катионита, м<sup>3</sup> на 1м<sup>3</sup> катионита, принимаемый для сульфоугля -4 и для КУ-2-8.

**Т а б л и ц а 4. Технологические данные для расчета Na-катионитных фильтров**

Показатель	Фильтр I	Фильтр II
Высота слоя катионита (по заводским данным), м	2—2,5	1,5
Крупность зерен катионита, мм	0,5—1,2	0,5—1,2
Количество фильтров (I ступени — не менее двух и один резервный)	По расчету	По расчету
Скорость фильтрования <sup>2</sup> , м/ч, нормальная не превышать при жесткости воды:		
5 мг-экв/л	25 (35)'	Не более 40
5—10 мг-экв/л	15 (25)'	
10—15 мг-экв/л	10 (20)'	
Потери напора при фильтровании, м	См. табл. 6	13—15
Взрыхляющая промывка катионита <sup>3</sup> :		
интенсивность, л/(м <sup>2</sup> -с), при крупности зерен		
0,5—1,1	4	4
0,8—1,2	5	5
продолжительность, мин	20—30	20—30
Удельный расход соли на регенерацию, г/г-экв, ориентировочно при двухступенчатом (остаточной жесткости после первой ступени — обрабатываемой воды, мг-экв/л, не более		

5	100—120	—
10	120—150	—
15	170—250	—
20	275—300	—
Концентрация регенерационного раствора, %	5—8	8—12
Скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч	3—4	3—5
Рабочая обменная емкость катионита, г-экв/м <sup>3</sup>	По формуле	250—300
Отмывка катионита от продуктов регенерации:		
скорость пропуска отмывочной воды через	6—8	6—8
удельный расход отмывочной воды, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>		
загрузке фильтра:		
сульфоуглем	5	6
катионитом КУ-2	6	8

Примечания: 1. В скобках даны скорости фильтрования при загрузке мелким катионитом с крупностью зерен 0,3—0,8 мм.

2. Допускается кратковременное увеличение скорости на 10 м/ч по сравнению с указанными при выключении фильтра на регенерацию (максимально допустимая скорость).

Скорость фильтрования менее 5 м/ч не допускается из-за возможного резкого снижения обменной емкости катионита.

3. Вода на взрыхляющую промывку должна подаваться насосами из бака, объем которого выбирается в зависимости от диаметра и числа фильтров, подлежащих одновременной промывке; кроме того, этот объем должен обеспечивать одну дополнительную промывку сверх расчетной. Насос, подающий воду в промывочный бак, должен обеспечивать его наполнение за время, меньшее, чем интервалы между промывками фильтров.

Допускается взрыхляющая промывка из трубопровода осветленной воды, если расход на взрыхление не превышает 50 % общего расхода фильтрата.

Промывка может осуществляться из бака осветленной воды, емкость которого должна предусматривать расход воды на промывку и дополнительную промывку сверх расчетного их числа. Скорости в трубопроводах, подающих и отводящих промывную воду, принимаются равными 1,5—2 м/с.

Должны быть исключены возможность подсоса воздуха промывочным трубопроводом, а также подпор воды в отводящих трубопроводах.

4. Число регенераций каждого Na-катионитного фильтра первой ступени в

Марка, завод изготовитель	Диаметр D, мм	Площадь F, м <sup>2</sup>	Высота		Объем		Масса	
			общая Н, мм	слоя ионита h <sub>сл</sub> , мм	Фильтр-ра общ. V, м <sup>3</sup>	слоя ионита м <sup>3</sup>	металла, т	нагрузочная, т
<b>Фильтры ионитовые I ступени</b>								
ФИПа1-0,7-0,6-Na,	700	0,38	3000	2	1.1	0.8	0.57	3
СЗТМ ФИПа1-1,0-0,6-Na	1000	0.78	3124	2	2.3	1.6	1.03	5
ФИПа1-1,0-0,6-N,	1000	0.78	3124	2	2.3	1.6	0.943	5
БиКЗ ФИПа1-1,4-0,6-N	1400	1.54	3600	2	4.5	3.42	1.4	13
ФИПа1-1,4-0,6-Na	1400	1.54	3600	2	4.5	3.42	1.4	13
ФИПа1-1,4-0,6-Na	2000	3.14	4000	1.8	11.7	5.7	2.9	15
ФИПа1-2,0-0,6, ТКЗ	2600	5.3	4300	1.8	20	9.6	4.6	27
ФИПа1-2,6-0,6	3000	7.1	4450	1.8	29	12.6	5.5	41
ФИПа1-3,0-0,6	3400	9.1	4600	1.8	39	16.3	7.4	47
ФИПа1-3,4-0,6								
<b>Фильтры ионитовые II ступени</b>								
ФИПаП-1,0-0,6-N,	1000	0.78	2724	1.5	1.87	1.20	0.858	3.5
БиКЗ ФИПаП-1,0-0,6-Na	1000	0.78	2724	1.5	1.87	1.20	0.91	3.5
ФИПаП-1,4-0,6-N	1500	1.78	2985	1.5	3.58	2.66	1.59	7
ФИПаП-1,4-0,6-Na	1500	1.78	2985	1.5	3.58	2.66	1.31	7
ФИПаП-2,0-0,6, ТКЗ	2000	3.14	3235	1.5	7.6	3.8	2.51	13.1
ФИПаП-2,6-0,6	2600	5.3	3501	1.5	13.6	6.9	4.2	20
ФИПаП-3,0-0,6	3000	7.1	3775	1.5	17.0	9.4	5.6	30

сутки принимается от одного до трех.

5. При производительности установки менее 20 м<sup>3</sup>/ч целесообразно при проектировании рассмотреть вариант промывки и регенерации только в дневную смену.

Суммарная рабочая площадь катионитовых фильтров первой ступени  $F_{Nк}$  определяется по формуле (3)

$$F_{K}=W_k/H_k, \quad (3)$$

где  $H_k$  – высота катионита в фильтре, принимаемая для фильтров первой ступени от 2 до 2,5 м (большая высота загрузки принимается при жесткости исходной воды более 10 г-экв/м<sup>3</sup>), для фильтров второй ступени принимается равной 1,5 м.

$W_k$ - принимается по формуле (1)

Число рабочих фильтров принимается по формуле (4)

$$N\phi = F_K / f\phi, \quad (4)$$

где  $f\phi$  – площадь фильтрования Na-катионитового стандартного фильтра, принимаемая по табл. 5 .

Диаметр и площадь фильтрования стандартного фильтра выбирается из условия, чтобы количество рабочих фильтров было не менее двух, кроме резервного, который в расчете не учитывается.

Табл.5

### **Конструктивные и технологические показатели ионитовых фильтров**

Скорость фильтрования определяется из уравнений:

нормальная — при работе всех фильтров

$$V_n = Q_y / f\phi N\phi; \quad (5)$$

максимальная — при регенерации одного из фильтров

$$V_{max} = Q_y / f\phi (N\phi - 1), \quad (6)$$

где  $V_n$  и  $V_{max}$  – соответственно нормальная и максимальная скорости фильтрования, м/ч. Нормальная и максимальная скорости фильтрования не должна превышать пределов, указанных в табл. 4. и приложении п.2.

Для мягких вод скорость фильтрования может быть решающим фактором выбора диаметра Na-катионитного фильтра; для высокоминерализованных вод с большой жесткостью число регенераций может быть недопустимо большим (более трех в сутки), в этом случае выбор диаметра и числа работающих фильтров решает число регенераций. Правильность выбора числа регенераций при принятых параметрах и числе Na-катионитовых фильтров проверяется следующей формулой .

$$n_p = 24 Q_y Ж / f\phi H_k E_{раб}^{Na} N_\phi$$

Потеря напора в напорных катионитовых фильтрах при фильтровании определяется как сумма потерь напора в коммуникациях фильтра, в дренаже и катионите и принимается по табл. 6

Табл. 6.

**Потеря напора (м) в катионитных фильтрах (включены потери в коммуникациях фильтра, в дренажной системе и катионите)**

Высота с крупностью	Скорость фильтрования, м/ч				
	5	10	15	20	25
<b>2</b>	<b>4 (5)</b>	<b>5 (6)</b>	<b>5,5</b>	<b>6 (7)</b>	<b>7 (9)</b>
<b>2,5</b>	<b>4,5</b>	<b>5,5</b>	<b>6</b>	<b>6,5</b>	<b>7,5</b>

Примечание. В скобках даны потери напора для мелкого катионита (зерна крупностью 0,3-0,8 мм).

Регенерацию катионита производят технической поваренной солью. Расход поваренной соли  $G_c$  в кг, на одну регенерацию Na-катионитного фильтра первой ступени определяется по формуле (7).

$$G_c = f\phi H_k E_{раб}^{Na} a_c / 1000, \quad (7)$$

Где  $a_c$  – удельный расход соли на 1г-экв рабочей обменной емкости катионита Na-катионитного фильтра первой ступени, принимаемый по Рис.1

(стр.110 СНиП 2.04.02) в зависимости от жесткости исходной воды и требуемой жесткости фильтрата. Для предварительных расходов  $a_c$  принимается равным 12-150 г/г-экв для фильтров первой ступени при двухступенчатой схеме и 150-200 г/г-экв при одноступенчатой схеме. Концентрация регенерационного раствора следует принимать 5-8%.

Расход технической соли в сутки  $Gm_c$  определяется по формуле (8)

$$Gm_c = Gc n_p N \phi 100 / P, \quad (8)$$

где  $Gm_c$  - суточный расход соли кг/сут на регенерацию фильтров;

$P$  - содержание NaCl в техническом продукте,  $P=93\%$ .

Расход осветленной воды на собственные нужды установки:

1) На взрыхление катионитовой загрузки фильтра

$$q_{взр} = I f_{\phi} 60 t_{взр} / 1000 \quad (9)$$

где  $I$  – интенсивность взрыхляющей промывки фильтров, л/ (с·м<sup>2</sup>) (Табл. 4);

$t_{взр}$  – продолжительность взрыхляющей промывки 20-30 мин.

2) Расход воды на приготовление регенерационного раствора соли

$$q_{p.p} = Gc 100 / 100 b \rho_{p.p}. \quad (10)$$

где  $b$  - концентрация регенерационного раствора в %, принимается по табл. 4;

$\rho_{p.p}$  – плотность регенерационного раствора, т/м<sup>3</sup>.

3) Расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации  $q_{отм}$

$$q_{отм} = q_{уд} f_{\phi} H_k, \quad (11)$$

где  $q_{уд}$  – удельный расход воды на отмывку катионита, м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> катионита определяется по табл. 4.

4) Расход воды на одну регенерацию фильтра, без использования отмывочных вод на взрыхляющую промывку

$$q_{с.н.} = q_{взр} + q_{p.p} + q_{отм} \quad (12)$$

5) Среднечасовой расход воды на собственные нужды Na-катионитовых фильтров

$$q_{c.n}^u = q_{c.n} n_p N_{\phi} / 24, \quad (13)$$

или в процентах от производительности станции умягчения

$$P_{c.n}^u = q_{c.n}^u 100 / Q_y \quad (14)$$

Время между регенерациями фильтра  $T_{\phi}$  определяется из уравнения

$$T_{\phi} = 24/n_p - t_{рег}^{\phi}/60 \quad (15)$$

где  $n_p$  - количество регенераций каждого катионитового фильтра в сутки;

$t_{рег}^{\phi}$  - время регенерации фильтра, мин, определяемое по формуле (16)

$$t_{рег}^{\phi} = t_{взр} + t_{p.p} + t_{отм} \quad (16)$$

где  $t_{взр}$  - продолжительность взрыхляющей промывки по табл.4;

$t_{p.p}$  - время пропуска регенерационного раствора через фильтр по формуле (17)

$$t_{p.p} = q_{p.p} 60 / w_{p.p} f_{\phi} \quad (17)$$

$w_{p.p}$  - скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч, по табл. 4.

$t_{отм}$  - время отмывки от продуктов регенерации, мин, определяется из уравнения

$$t_{отм} = q_{отм} 60 / w_{от} f_{\phi}, \quad (18)$$

$w_{от}$  - скорость отмывки, принимается по табл.4.

Количество одновременно регенерируемых фильтров определяется по уравнению (19)

$$N_{o.p} = n_p N_{\phi} t_{рег}^{\phi} / 24 \quad (19)$$

Затем произвести расчет гидравлический расчет трубопроводов оборотной системы с определением диаметров трубопроводов, подобрать типы и количество насосов насосной станции оборотной воды и режим их работы.

Приемные резервуары насосных станций определить из условия запаса воды на 5-10 мин максимальной работы насосов.