

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО, ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО И
ПРИРОДООХРАННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА МГСУ

Кафедра водоснабжения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»

для студентов факультета ВиВ

(специальность 270110)

Составитель

профессор, докт. техн. наук А.Г. Первов
доцент, канд. техн. наук А.П. Андрианов

Рецензент

доцент, канд. техн. наук А.М. Ефимов

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Исходные данные для разработки курсового проекта

Целью данной работы является выполнение проекта станции водоподготовки для цеха теплоснабжения крупного промышленного предприятия, включая разработку технологической схемы и проекта размещения технологического оборудования в промышленном здании, определение главных технологических параметров станции водоподготовки.

В процессе работы над проектом необходимо провести технико-экономическую оценку качества исходной воды из предложенных водоисточников, позволяющую определить оптимальный состав очистных сооружений в зависимости от целого ряда факторов, выбрать и проработать технологическую схему водоподготовки, провести расчет всех сооружений технологической схемы, выполнить расчет потребления реагентов.

Основные факторы, влияющие на выбор метода обработки воды, приводятся в качестве исходных данных в задании для проектирования (см. табл. 1)

1.2. Объём, содержание и последовательность выполнения курсового проекта

Курсовой проект станции водоподготовки состоит из расчетно-пояснительной записки, включающей технико-экономическое обоснование выбранных решений с составлением сметно-финансового расчета, и графической части (1 лист формата A1).

Последовательность выполнения курсового проекта следующая: сначала оформляют пояснительную записку, а затем вычерчивают графическую часть, при разработке которой необходимо учитывать требования к компоновке очистных сооружений.

Расчетно-пояснительную записку выполняют на стандартных листах писчей бумаги (формат A4). Объём 30 – 40 страниц с учётом технико-экономической части проекта.

В расчетно-пояснительную записку включают следующие разделы:

1. Исходные данные для проектирования станции водоподготовки и требования к качеству воды;
2. Оценка качества исходной воды и выбор типа водоисточника;
 - 2.1. Выбор схемы предочистки перед ионным обменом для поверхностной и подземной воды;
 - 2.2. Выбор технологической схемы ионного обмена на основе химического состава для поверхностной и подземной воды;
 - 2.3. Оценка приведенных затрат на выбранные схемы в зависимости от типа и качества исходной воды и выбор типа водоисточника;
3. Подробное описание технологической схемы, обоснование выбора, сравнение с альтернативными схемами;
 - 3.1. Описание схемы предочистки, узлов хранения и дозирования реагентов;
 - 3.2. Сравнение выбранной схемы ионного обмена с альтернативными (табл. 2 и рис. 2), описание основных сооружений окончательно выбранной схемы и узлов хранения и дозирования реагентов;
 - 3.3. Расчет всех элементов технологической схемы и вспомогательных сооружений;
4. Разработка технологических схем.
5. Определение экономических показателей, сравнение вариантов.

При создании схем предочистки перед установками ионного обмена следует руководствоваться общими принципами:

- при обработке подземных вод для предварительного удаления железа используются методы упрощенной аэрации с последующим фильтрованием через напорные механические фильтры. Для аэрации целесообразно использовать дегазаторы с хордовой насадкой или насадкой из колец Рашига;

- при обработке поверхностных вод для предотвращения загрязнения ионообменных материалов растворенными органическими загрязнениями и осадками коллоидных и взвешенных веществ, используются традиционные методы осветления воды с использованием осветлителей со взвешенным осадком.

Могут быть применены конструкции коридорных осветлителей НИИ ВОДГЕО, обычно изготавливаемые в блоке с открытыми скорыми фильтрами (для объектов технического водоснабжения и отопления), либо готовые конструкции осветлителей ЦНИИ МПС или осветлителей ВТИ с последующим фильтрованием на напорных механических фильтрах с загрузкой из гидроантрацита (для энергетических объектов).

На технологическую схему должны быть нанесены:

- схемы и оборудование для хранения, приготовления и использования реагентов, включая все элементы реагентного хозяйства, расходные и растворные баки, насосы, дозаторы и т.д.;

- все элементы оборудования станции водоподготовки, сооружения предочистки, ионообменные фильтры, линии трубопроводов со всеми необходимыми элементами запорно-регулирующей арматуры (задвижками), дегазаторы, промежуточные баки, баки запаса умягченной воды; все детали технологической схемы регенерации (мерники, расходные баки, эжекторы), насосные агрегаты, включая насосы исходной воды, насосы подачи воды из промежуточных баков, насосы взрыхления, отмывки, регенерации, умягченной воды;

- основные отметки уровня воды в осветлителях, баках, открытых фильтрах, резервуарах умягченной воды, баках мокрого хранения реагентов и т.д.;

- экспликации технологической схемы, в которой должны быть указаны все элементы оборудования станции водоподготовки и линии основных трубопроводов (исходной воды, умягченной воды, регенерационных растворов, сброса промывных вод и регенерационных растворов, воды на взрыхление и на отмывку).

В пояснительной записке должны быть приведены технологические расчеты всех элементов технологической схемы:

- определены габариты сооружений предочистки;
- расходы реагентов для предочистки;
- габаритные размеры расходных и растворных баков реагентного хозяйства, а также баков мокрого хранения реагентов и цистерн для кислоты и щелочи;

- баков промывки фильтров предочистки, промежуточных и накопительных емкостей;

- определены характеристики и марки насосов подачи воды и промывки фильтров, а также насосов для обслуживания установки ионного обмена;

- определены габаритные размеры и количество фильтров для ионного обмена, дегазаторов, промежуточных баков, баков-накопителей очищенной умягченной воды, баков для отмывки и взрыхления;

- рассчитываются количества реагентов для регенерации фильтров, суточное и годовое потребление реагентов, объемы воды для собственных нужд станции, сооружения для хранения реагентов.

Расчет оборудования ведется в соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84 и СНиП-II-35-76.

После всех расчетов определяется годовой экономический эффект от внедрения выбранной технологии.

Графическую часть проекта выполняют на одном-двух листах формата А1, на которых вычерчивают план первого этажа здания.

При компоновке здания станции водоподготовки намечают и предусматривают основные помещения для:

- системы предочистки (отделения осветлителей, фильтров, приемных баков, баков осветленной воды, аэраторов и т. д.), узлов приготовления и дозирования реагентов предочистки;
- зала ионообменных фильтров;
- насосных станций подачи исходной воды, промывки фильтров, подачи осветленной и фильтрованной воды;
- склада реагентов: мокрого хранения коагулянта и соли, известкового хозяйства, кислотного хозяйства;
- дозирования реагентов, блоков регенерации с баками, насосами, эжекторами.

Размещение расходных баков должно обеспечивать удобный доступ к складу реагентов. Компоновка ионообменных фильтров должна позволять легкий монтаж-демонтаж соединительных трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры, насосных установок. Помещение оборудуется кран-балкой с достаточной высотой потолков.

Среди необходимых помещений необходимо указать примыкающий к залу диспетчерский пункт, электрощитовую, лабораторию, электро- и механическую мастерскую, бытовку.

При проектировании здания учесть площадки для подвоза реагентов (ж/д пути, подъездные пути, ворота). Строительно-конструктивная часть здания должна быть грамотно проработана, указаны расстояния между колоннами, длины пролетов, уклоны кровли и т. д.

На чертеже здания станции необходимо указать требуемые для понимания компоновки разрезы с отметками осей трубопроводов и насосных установок, пола в зале фильтров, уровней воды в резервуарах и баках.

**БЛАНК ЗАДАНИЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ
ПО ТЕМЕ «ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»**

для студентов факультета ВиВ – 5 курс, д/о
выдано _____ срок сдачи _____

Таблица 1

Показатели качества исходной воды

№ п/п	Показатели качества	Поверхностная вода		Подземная вода	
		мг/л	мг-ЭКВ/л	мг/л	мг-ЭКВ/л
1	Катионы: кальций, магний, натрий + калий				
2	Анионы: хлориды, сульфаты, бикарбонаты				
3	рН				
4	Общее солесодержание				
5	Мутность				
6	Цветность				
7	Окисляемость перманганатная				
8	Силикаты				
9	Железо общее				

Назначение водоподготовки	Расход, м ³ /ч
Для водогрейных котлов	
Для бойлеров	
Паровые котлы среднего давления	
Паровые котлы с высокой температурной напряженностью	
Паровые котлы высокого давления	

1.3. Сравнительная оценка состава исходной воды, выбор технологической схемы водоподготовки

Выбор технологии водоподготовки производится на основе таблицы 2. Однако в конкретных случаях на выбор схемы оказывает влияние солевой состав воды, ее жесткость, щелочность, общее солесодержание и т.д. Поэтому работа над проектом начинается с внимательного изучения химического состава воды.

Большое значение на выбор схемы водоподготовки оказывают эксплуатационные затраты, которые для ионообменных установок тем выше, чем выше значения жесткости воды и солесодержания.

Однако в ряде случаев на выбор схемы оказывают влияние такие показатели воды как цветность, мутность, окисляемость, содержание железа и марганца. Ионообменные установки, как известно, требуют тщательной предочистки во избежание «отравления» ионообменных смол органическими веществами, а также ионами железа и марганца. Стоимость схемы предочистки также может оказать решающее значение.

Для объективной оценки стоимости различных вариантов схем водоподготовки (для различных составов исходной воды) пользуются приведенными затратами на водоподготовку.

Приведенные затраты (определяющие затраты на водоподготовку в течение одного года) определяются по формуле:

$$E = K_i \cdot k + \Xi_i,$$

где E_i – приведенные затраты по i -му варианту, тыс.руб./год;
 K_i – капитальные затраты (стоимости оборудования), тыс.руб./год;
 k – нормативный коэффициент окупаемости проекта, принимаемый обычно 0,16 при сроке окупаемости 6 лет;
 Ξ_i – эксплуатационные затраты (на реагенты, электроэнергию и т. п.), тыс.руб./год.

Экономический эффект от принятой схемы определяется как:

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

Для определения стоимости оборудования схем предочистки и ионного обмена пользуются величиной удельной стоимости, руб./($1\text{ м}^3/\text{час}$), которая зависит от расхода станции.

При расчете стоимости реагентов для регенерации исходят из их расхода, приблизительно равному трехкратному расчетному расходу:

стоимость соли – 1000 руб./т;
 кислоты – 1500 руб./т;
 щелочи – 2000 руб./т.

Схема предочистки принимается по рис. 1 с использованием стандартного оборудования, различные варианты технологических схем ионного обмена изображены на рис. 2, принципиальная схема обвязки ионитового фильтра продемонстрирована на рис. 3.

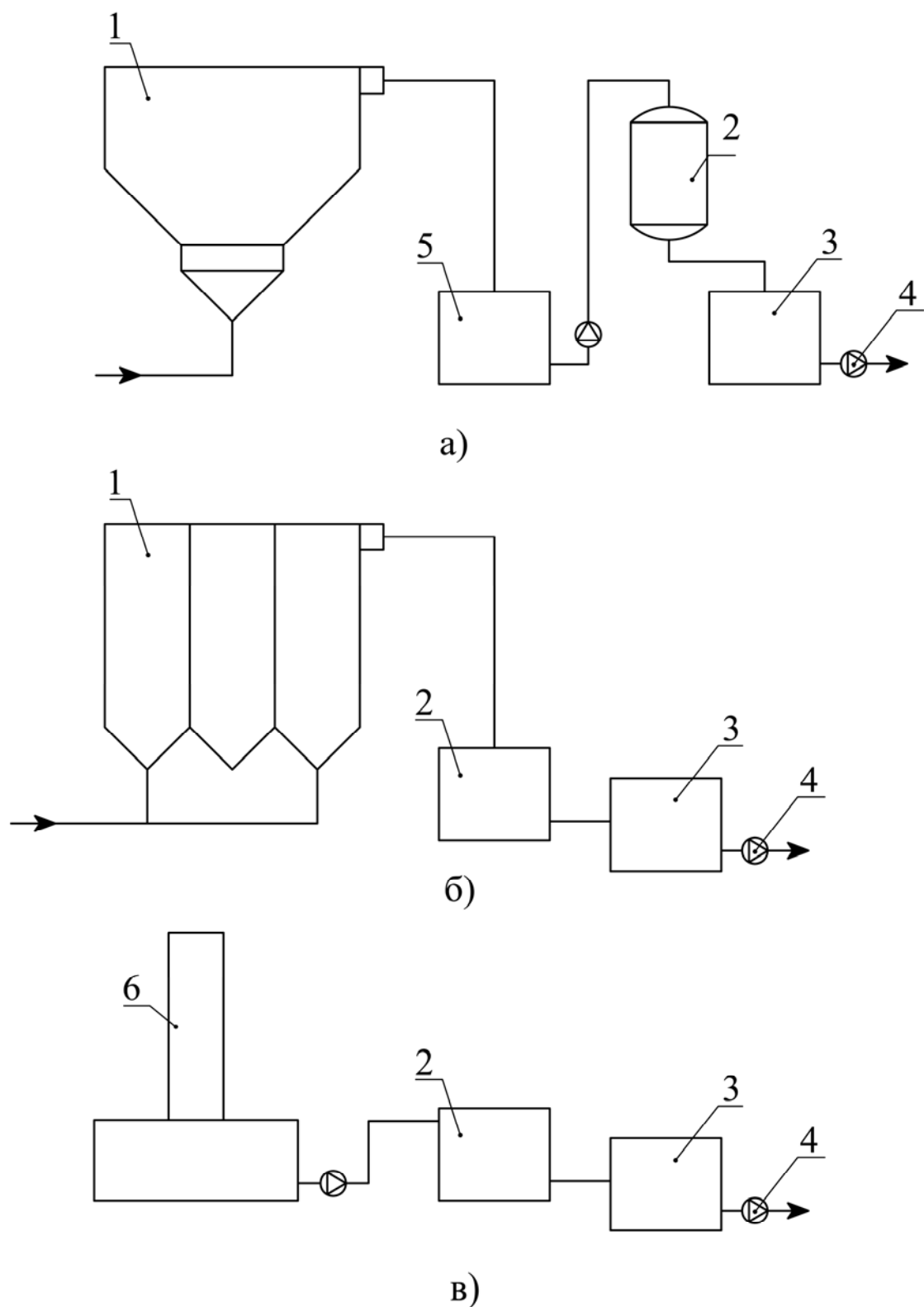


Рис. 1. Основные принципы разработки схем предочистки перед установками ионного обмена

а) с осветлителями для коагуляции ВТИ и механическими фильтрами;

б) с коридорными осветлителями НИИ ВОДГЕО и скорыми фильтрами;

в) обезжелезивание подземной воды;

1 – осветлитель, 2 – скорый фильтр, 3 – бак осветленной воды, 4 – насос подачи осветленной воды, 5 – промежуточный бак осветленной воды для подачи воды на механические фильтры, 6 – аэратор.

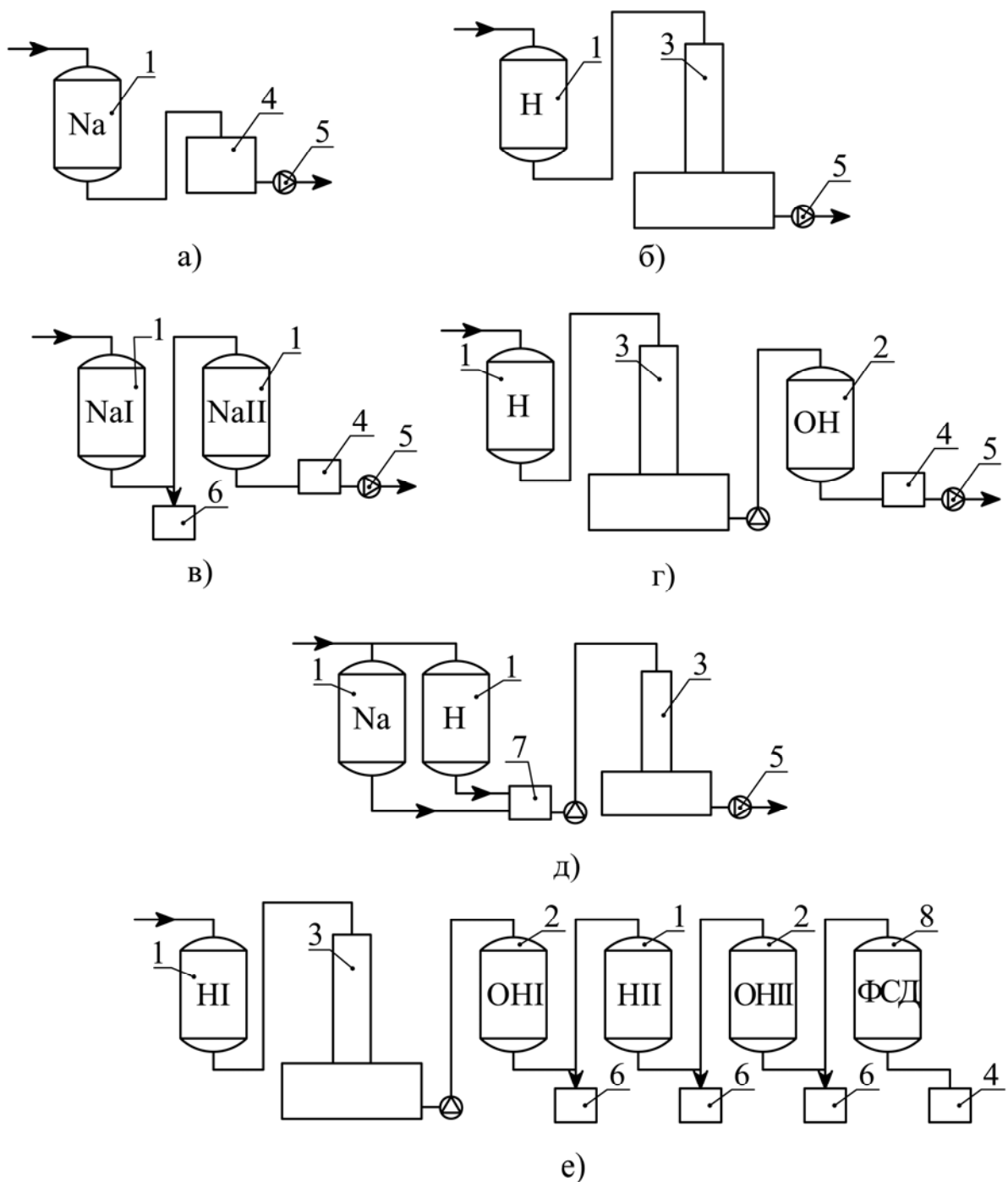


Рис. 2. Технологические схемы ионного обмена

а) натрий-катионирование;

б) водород-катионирование, в том числе с «голодной регенерацией»;

в) двухступенчатое натрий-катионирование;

г) схема частичного обессоливания с H-OH ионированием;

д) параллельное H-Na-катионирование;

е) схема глубокого обессоливания;

1 – катионитовые фильтры, 2 – анионитовые фильтры, 3 – дегазатор, 4 – бак сбора очищенной воды, 5 – насос подачи в деаэратор, 6 – промежуточный бак сбора очищенной воды для отмывки и взрыхления, 7 – смеситель, 8 – фильтр смешанного действия.

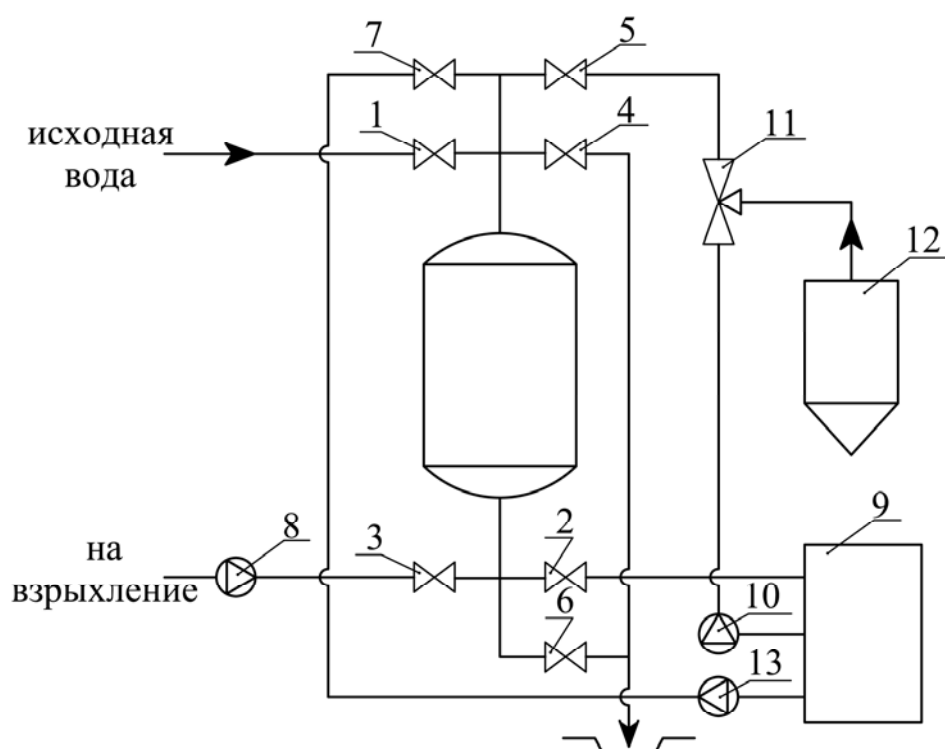


Рис. 3. Принципиальная схема обвязки ионитового фильтра

1 – подача исходной воды, 2 – выход очищенной воды, 3 – подача воды на взрыхление ионита, 4 – сброс воды после взрыхления, 5 – подача регенерационного раствора, 6 – сброс отработавшего регенерационного раствора, 7 – подача воды для отмывки ионита, 8 – насос подачи воды на взрыхление ионита (из бака исходной воды), 9 – бак очищенной воды (обычно после дегазатора, или промежуточный бак-накопитель); 10 – насос подачи воды для приготовления регенерационного раствора; 11 – эжектор; 12 – мерник крепкого регенерационного раствора (соли, кислоты или щелочи); 13 – насос подачи воды на отмывку ионита.

Таблица 2

Выбор технологической схемы

Назначение водоподготовки	Характеристики очищенной воды	Показатели исходной воды	Базовая технологическая схема	Альтернативная технологическая схема
1	2	3	4	5
1. Водогрейные котлы	$K = 0,5$ $[Ca] \cdot [Щ], (мг-экв/л)^2$	$[Ca] =$ $[Щ] =$	Na-катион. (одноступенчатое)	H голодн. Параллельное H-Na-катион.
2. Бойлеры	$K = 2$		то же	то же
3. Паровые котлы среднего давления	$Ж \leq 10$ мкг-экв/л		Na-Na	Na-катион. с противоточной регенерацией
4. Паровые котлы с высокой температурной напряженностью	$Ж \leq 10$ мкг-экв/л $S \leq 80$ мг/л	$S =$	H-OH	H-OH-ионир. с противоточной регенерацией или обратный осмос
5. Паровые котлы высокого давления (ТЭЦ)	$S < 0,1$ мг/л $SiO_3^{2-} \leq 0,01$ мг/л	$S =$ $SiO_3^{2-} =$ $Щ =$	H-OH-H-OH- ФСД	H-OH-ФСД с противоточной регенерацией или обратный осмос-ФСД

Выбор технологической схемы (2)

№ п/п	Технологическая схема	Назначение	Требования к воде	Альтернативная схема
1	2	3	4	5
1	Одноступенчатое Na-катионирование	Подпитка тепловых сетей		H-катионирование с голодной регенера- цией
2	Двухступенчатое Na-катионирование	Для паровых котлов		С противоточной регенерацией
3	H-катионирование с «голодной» регенерацией			Схема параллельно- го H–Na- катионирования – отсутствие сброса кислых стоков
4	Параллельное H–Na катионирова- ние	Для паровых кот- лов, снижение щелочности и солесодержания	Снижение жестко- сти до 0,1 мг-экв/л, щелочности до 0,35 мг-экв/л	
5	Частичное обессо- ливание H–ОН		Удаление Ca, Mg, Na	С противоточной регенерацией
6	Полное обессоливание			
7	Противоточное Na-катионирование			
8	Противоточное H-катионирование	При высоком со- держании анио- нов: более 5 мг- экв/л		

Таблица 4

Укрупненные данные по капитальным и эксплуатационным затратам различных видов оборудования для предварительной оценки вариантов

Вид схемы	Стоимость руб./(м ³ /ч)		
	Расход, м ³ /ч		
	до 50	50 – 100	выше 100
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Осветлители коридорные со скорыми фильтрами	34000	29000	26000
Осветлители ВТИ с механическими фильтрами	41000	36000	33000
Отстойники со скорыми фильтрами	39000	33000	30000
Обезжелезивание методом упрощенной аэрации	39000	32000	30000
Na–катионирование одноступенчатое	48000	41000	39000
Na–катионирование двухступенчатое	52000	45000	40000
Частичное обессоливание	6000	50000	45000
Полное обессоливание	72000	65000	55000
Эксплуатационные затраты			
Расход реагента в год: $q_c = \frac{Q \cdot \Sigma_c \cdot \mathcal{E} \cdot 3 \cdot 7000}{10^6}, \text{ т/год}$ Σ_c соли: $J_{\text{общ.}}$, мг-экв/л Σ_k кислоты: $J + [Na + K]$, мг-экв/л $\Sigma_{\text{щ}}$ щелочи: $J + Na - \text{Щ}$, мг-экв/л $\mathcal{E}$ – эквивалентный вес реагента (для поваренной соли $\mathcal{E} = 57$)	–	–	–

II. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

2.1. Расчет Na-катионитовых фильтров

Расчет Na-катионитового фильтра начинают с подбора диаметра фильтра по скорости фильтрования.

Нормальная скорость:

$$w_n = \frac{Q_{Na}}{f_{Na} \cdot a}$$

Максимальная скорость:

$$w_m = \frac{Q_{Na}}{f_{Na} \cdot (a-1)}, \text{ где}$$

w_n, w_m – нормальная и максимальная скорости фильтрования, м/ч (принимаются в зависимости от жесткости исходной воды, табл.4)

Q_{Na} – производительность Na-катионитового фильтра, м³/ч,

f_{Na} – площадь фильтрования Na-катионитового фильтра, м², (по табл.5)

a – количество работающих фильтров (не менее 2, кроме того 1 –резервный)

$(a-1)$ – число работающих фильтров при регенерации одного из них.

Количество солей жесткости A , г-экв/сут, удаляемое на Na-катионитовых фильтрах, определяется по формуле:

$$A = 24 \cdot J_0 \cdot Q_{Na}, \text{ где}$$

J_0 – общая жесткость воды, поступающей на Na-катионитовый фильтр.

(На Na-катионитовые фильтры первой ступени поступает вода с жесткостью, равной жесткости исходной воды, или частично умягченная после известкования в осветлителе).

Число регенераций каждого фильтра в сутки n определяется по формуле:

$$n = \frac{A}{f_{Na} \cdot H_{cl} \cdot E_p^{Na} \cdot a}, \text{ где}$$

n –число регенераций каждого фильтра первой ступени в сутки,

H_{cl} –высота слоя катионита,м, (по табл 4)

a –число работающих фильтров,

E_p^{Na} –рабочая обменная способность катионита, г-экв/м³, определяется из уравнения:
 $E_p^{Na} = \alpha_3 \cdot \beta_{Na} \cdot E_p - 0,5q \cdot J_0$, где

α_3 –коэффициент эффективности регенерации, учитывающий неполноту регенерации катионита в зависимости от удельного расхода соли на регенерацию (табл.6),

β_{Na} – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита по ионам Ca^{2+} и Mg^{2+} за счет частичного задержания катионов Na (табл.7),

E_p –полная обменная способность катионита, г-экв/м³, (табл.8)

q –удельный воды на отмывку катионита, м³/м³ (табл. 4),

0,5–доля умягчения отмывочной воды.

Технологические данные для расчета Na-катионитовых фильтров

Таблица 4(5-4)

№ п/п	Показатель	Фильтрат Ист	Фильтрат Пст
1	2	3	4
1	Скорость фильтрования, м/ч, нормальная (максимальная): Ж ₀ до 5 Ж ₀ до 10 Ж ₀ до 15	25 15 10	40
2	Высота слоя катионита, м	2	1,5
3	Крупность зерен катионита, мм	0,5-1,1	0,5-1,1
4	Взрыхляющая промывка катионита: интенсивность, л/с·м ² продолжительность, мин	4 30	4 30
5	Удельный расход поваренной соли на регенерацию, г/г-экв при жесткости обрабатываемой воды: Ж ₀ до 5 Ж ₀ до 10 Ж ₀ до 15 Ж ₀ до 20	100-120 120-200 170-250 200-300	300-400
6	Концентрация регенерационного раствора, %	5-8	8-12
7	Скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч	3-4	3-5
8	Рабочая обменная способность катионита, г-экв/м ³	по формуле $E_p^{Na} = \alpha_{\beta} \cdot \beta_{Na} \cdot E_{п-} - 0,5q \cdot Ж_0$	250-300
9	Полная обменная способность катионита, г-экв/м ³ : сульфоуголь катионит КУ-2	500 1700	
10	Удельный расход отмывочной воды, м ³ /м ³ : сульфоуголь катионит КУ-2	4 6	6 8
11	Скорость пропуска отмывочной воды, м/ч	6-8	6-8

Таблица 5(5-3)

Диаметр фильтра, Ду, мм	700	1000	1500	2000	2600	3000	3400
Площадь фильтрования f, м ²	0,39	0,76	1,72	3,1	5,2	6,95	9,1

Таблица 6 (5-5)

Удельный расход соли на регенерацию катионита. г/г-экв обменной способности, α_9	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
	0,62	0,64	0,64	0,69	0,72	0,74	0,75	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82	0,83
То же	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350
	0,84	0,85	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94

Таблица 7(5-7)

$Q_c^{Na} = \frac{C_{Na}^2}{J_0}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
β_{Na}	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,8	0,77	0,73	0,7
$Q_c^{Na} = \frac{C_{Na}^2}{J_0}$	0,6	0,07	0,8	0,9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
β_{Na}	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,62	0,60	0,57	0,54	0,53	0,52	0,52	0,51	0,5

Таблица 8(2-2)

Марка ионита	Полная обменная способность, г-экв/м ³
Катиониты	
Сульфуголь 1-го сорта:	
крупный СК-1	500
мелкий СМ-1	570
Катионит КУ-1	650
Катионит КУ-2-8	1700
Катионит КУ-2-8чС	1700
Катионит КБ-4-П2	2800
Аниониты	
Анионит АН-18-6	1000
Анионит АН-31	1500
Анионит АВ-17-8	800
Анионит АВ-17-8чС	800
Анионит АВ-23	650

Таблица (15-6)

Содержание вещества в процентах массы (г/100 г раствора)	Плотность, г/см ³									
	Al ₂ (SO ₄) ₃ при 19 ⁰ С	Fe ₂ Cl ₃ при 20 ⁰ С	FeSO ₄ при 18 ⁰ С	NH ₄ N O ₃ при 20 ⁰ С	NH ₄ Cl при 20 ⁰ С	(NH ₄) ₂ S O ₄ при 20 ⁰ С	Na CO ₃ при 20 ⁰ С	NaCl при 20 ⁰ С	NaNO ₃ при 20 ⁰ С	Na ₃ P O ₄ при 15 ⁰ С
1	1,009	1,007	1,009	1,002	1,001	1,004	1,009	1,005	1,005	1,009
2	1,019	1,015	1,018	1,006	1,005	1,01	1,019	1,013	1,012	1,019
4	1,04	1,032	1,038	1,015	1,011	1,022	1,04	1,027	1,025	1,041
6	1,061	1,049	1,058	1,023	1,017	1,034	1,061	1,041	1,039	1,062
8	1,083	1,067	1,079	1,031	1,023	1,046	1,082	1,056	1,053	1,085
10	1,105	1,085	1,1	1,04	1,027	1,057	1,103	1,071	1,067	1,108
12	1,129	1,104	1,122	1,048	1,034	1,069	1,124	1,086	1,082	-
14	1,152	1,123	1,145	1,057	1,04	1,081	1,146	1,101	1,097	-
16	1,176	1,142	1,168	1,065	1,046	1,092	-	1,116	1,112	-
18	1,201	1,162	1,191	1,074	1,051	1,104	-	1,132	1,127	-
20	1,226	1,182	1,214	1,083	1,057	1,115	-	1,148	1,143	-
22	1,252	-	-	-	1,062	-	-	1,164	-	-
24	1,278	-	-	1,101	-	1,138	-	1,18	1,175	-
26	1,306	-	-	-	1,073	-	-	1,197	-	-
28	1,333	1,268	-	1,119	-	1,161	-	-	1,209	-
30	-	1,291	-	-	-	1,172	-	-	1,226	-
35	-	1,353	-	1,151	-	1,2	-	-	1,27	-
40	-	1,417	-	1,175	-	1,228	-	-	1,318	-
45	-	1,485	-	-	-	-	-	-	1,368	-
50	-	1,551	-	1,226	-	1,283	-	-	-	-

Расход 100% поваренной соли на одну регенерацию фильтра определяется из уравнения:

$$Q_c^{Na} = \frac{E_p^{Na} \cdot f_{Na} \cdot H_{сл} \cdot q_c}{1000}, \text{ где}$$

Q_c^{Na} – расход поваренной соли на одну регенерацию, кг

f_{Na} – площадь фильтрования Na-катионитового фильтра, м²,

q_c – удельный расход соли на регенерацию г/г–экв обменной способности катионита, (табл.6)

Суточный расход технической соли определяется по формуле:

$$Q_{m.c.} = \frac{Q_c \cdot n \cdot a \cdot 100}{93}, \text{ где}$$

$Q_{m.c.}$ —расход технической соли на регенерацию фильтров, кг/сут,
93—содержание NaCl в технической соли, %

Расход воды на регенерацию:

- 1) Расход воды на взрыхляющую промывку, м³

$$Q_{взр.} = \frac{i \cdot f_{Na} \cdot 60 \cdot t_{взр}}{1000}, \text{ где}$$

$Q_{взр.}$ —количество воды на одну взрыхляющую промывку, м³
 i —интенсивность взрыхляющей промывки фильтров, л/с·м² (табл.4)

$t_{взр}$ —продолжительность взрыхляющей промывки, мин (табл.4)

- 2) Расход воды на приготовление регенерационного раствора соли, м³:

$$Q_{p.p.} = \frac{Q_c^{Na} \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{p.p.}}, \text{ где}$$

b —концентрация регенерационного раствора, % (по табл.4)

$\rho_{p.p.}$ —плотность регенерационного раствора, т/м³ (по табл.15-6)

- 3) Расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации, м³

$$Q_{от} = q_{от} \cdot f_{Na} \cdot H_{сл}, \text{ где}$$

$q_{от}$ —удельный расход воды на отмывку катионита, м³/м³ (табл.4)

Расход воды на одну регенерацию Na-катионитового фильтра составляет:

$$Q_{с.н.} = Q_{взр.} + Q_{p.p.} + Q_{от}, \text{ где}$$

$Q_{с.н.}$ —расход воды на собственные нужды Na-катионитового фильтра, м³

Межрегенерационный период работы фильтра определяется из уравнения:

$$T_{Na} = \frac{24}{n} - t_{рег}^{Na}, \text{ где}$$

T_{Na} —межрегенерационный период каждого Na-катионитового фильтра, ч

n —количество регенераций Na-катионитового фильтра в сутки,

$t_{рег}^{Na}$ —время регенерации фильтра, мин.

Время регенерации фильтра определяется для каждого случая расчетным путем:

$$t_{рег}^{Na} = t_{взр.} + t_{p.p.} + t_{от}, \text{ где}$$

$t_{взр.}$ —время взрыхляющей промывки фильтра, мин (табл.4)

$t_{p.p.}$ —время пропуска регенерационного раствора, определяется по формуле:

$$t_{p.p.} = \frac{Q_{p.p.} \cdot 60}{w_{p.p.} \cdot f_{Na}}, \text{ мин, где}$$

$Q_{p.p.}$ – количество регенерационного раствора, м³

$w_{p.p.}$ – скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч (табл.4)

t_{om} – время отмывки фильтров от продуктов регенерации, мин, определяется по формуле:

$$t_{om} = \frac{Q_{om} \cdot 60}{w_{om} \cdot f_{Na}}, \text{ где}$$

Q_{om} – расход воды на отмывку катионита, м³

w_{om} – скорость отмывки, м/ч (по табл.4)

Проверка суммарной площади рабочих Na-катионитовых фильтров:

$$F = \frac{Q_{пол.уст.}}{w_{расч} [T - n \cdot (t_{взр} + t_{рег} + t_{отм})]}, \text{ где}$$

$Q_{пол.уст.}$ – полезная производительность установки, м³/ч

T – количество часов работы установки в течение суток,

n – число регенераций в течение суток.

Расчет Na-катионитовых фильтров II ступени в схемах двухступенчатого Na катионирования

На Na-катионитовые фильтры II ступени обычно поступает вода с остаточной жесткостью до 0,1 мг–экв/л. Высота слоя катионита в Na-катионитовых фильтрах II ступени составляет 1,5 м.

При расчете фильтроцикла, расходов воды и соли на регенерацию используются данные таблиц: 4, 6.

Результаты расчета фильтров Na-катионирования

Таблица 9

№ п/п	Параметр	Обозначение	Определение	Значение	Ед. изм.
1	2	3	4	5	6
1	Нормальная скорость	w_n	по табл.4		м/ч
2	Общая площадь фильтрования	$F = f_{Na} \cdot a$	Из формулы: $w_n = \frac{Q_{Na}}{f_{Na} \cdot a}$		м ²
3	(Количество фильтров) / (площадь одного фильтра)	a / f_{Na}	$a \geq 2$; (+1 резервный) f_{Na} по табл.5		шт.
4	Коэффициент эффективности регенерации	α_3	Из табл.6		—
5	Коэффициент, учитывающий снижение обменной способности	β_{Na}	Из табл.7		—

6	Полная обменная способность катионита	E_{Π}	Из табл.8		г-экв/м ³
7	Удельный расход на отмывку	q	Из табл.4		м ³ /м ³
8	Рабочая обменная емкость	E_p^{Na}	По формуле: $E_p^{Na} = \alpha_{\Sigma} \cdot \beta_{Na} \cdot E_{\Pi} - 0,5q \cdot Ж_0$		г-экв/м ³
9	Количество солей	A	По формуле: $A = 24 \cdot Ж_0 \cdot Q_{Na}$		г-экв/м ³
10	Число регенераций в сутки	n	По формуле: $n = \frac{A}{f_{Na} \cdot H_{сл} \cdot E_p^{Na} \cdot a}$		
11	Удельный расход соли на регенерацию	q_c	По табл.6		г/г-экв
12	Расход соли на одну регенерацию	Q_c	По формуле: $Q_c^{Na} = \frac{E_p^{Na} \cdot f_{Na} \cdot H_{сл} \cdot q_c}{1000}$		кг
13	Расход соли в течение суток	$Q_{т.с.}$	По формуле: $Q_{м.с.} = \frac{Q_c \cdot n \cdot a \cdot 100}{93}$		кг/сут
14	Интенсивность взрыхляющей промывки	i	Из табл.4		л/с·м ²
15	Продолжительность взрыхляющей промывки	$t_{взр}$	Из табл.4		мин
16	Расход воды на взрыхляющую промывку	$Q_{взр.}$	$Q_{взр.} = \frac{i \cdot f_{Na} \cdot 60 \cdot t_{взр}}{1000}$		м ³
17	Концентрация регенерационного раствора, %	b	Из табл.4		%
18	Плотность регенерационного раствора	$\rho_{р.р.}$	По табл.15-6		т/м ³
19	Расход воды на приготовление регенерационного раствора соли	$Q_{р.р.}$	$Q_{р.р.} = \frac{Q_c^{Na} \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{р.р.}}$		м ³
20	Удельный расход на отмывку	$q_{от}$	Из табл.4		м ³ /м ³
21	Расход воды на отмывку	$Q_{от}$	$Q_{от} = q_{от} \cdot f_{Na} \cdot H_{сл}$		м ³
22	Расход воды на собственные нужды	$Q_{с.н.}$	$Q_{с.н.} = Q_{взр.} + Q_{р.р.} + Q_{от}$		м ³
23	Межрегенерационный период работы фильтра	T_{Na}	$T_{Na} = \frac{24}{n} - t_{рег}^{Na}$		ч
24	Время регенерации фильтра	$t_{рег}^{Na}$	$t_{рег}^{Na} = t_{взр} + t_{р.р.} + t_{от}$		мин

25	Время пропуска регенерационного раствора	$t_{p.p.}$	$t_{p.p.} = \frac{Q_{p.p.} \cdot 60}{w_{p.p.} \cdot f_{Na}}$		мин
26	Время отмывки фильтра от продуктов регенерации	t_{om}	$t_{om} = \frac{Q_{om} \cdot 60}{w_{om} \cdot f_{Na}}$		мин

2.2. Технологические данные для расчета Н-катионитовых фильтров

Таблица 5–9

№ п/п	Показатели	Обычные	с «голодной» регенерацией	с противоточной регенерацией
1	Допустимая скорость фильтрования, м/ч		4-30	
2	Высота слоя катионита, м	до 2,5	до 2,5	до 3,3
3	Скорость фильтрования, м/ч нормальная (максимальная) при жесткости обрабатываемой воды, мг-экв/л до 5 10 15	20 15 10		
4	Крупность зерен катионита	0,3-1,25	0,5-1,25	1,0-1,25
5	Взрыхляющая промывка катионита: интенсивность, л/с·м ² продолжительность, мин	2,5-3,0	2,5-3,0 15-30	3,5-4,5
6	Удельный расход серной кислоты, г/г-экв		35-40	
7	Концентрация раствора, %			
8	Скорость пропуска регенерационного раствора			
9	Рабочая обменная емкость катионита, г-экв/м ³		300	
10	Полная обменная емкость катионита, г-экв/м ³			
11	Удельный расход отмывочной воды, м ³ /м ³	5	5	
12	Скорость пропуска отмывочной воды, м/ч	10	10	10

Условия применения технологии Н-катионирования с «голодной» регенерацией (Нг)

Таблица 10

Характеристика исходной воды	Доза кислоты, г/г-экв	Щелочность фильтрата, мг-экв/л	
$0 \leq k \leq 0,2$	35-40	0,5	Нг может применяться независимо от ионного состава
$0 \leq k \leq 0,2$ $10 \geq A \geq 1$	35-45	0,5-0,7	Наиболее подходящий состав воды для Нг
$0 \leq k \leq 1$ $1 \geq A \geq 0,3$	45-50	0,7	Возможно при увеличенной дозе кислоты
$k > 1$ $A \leq 10$	50-60	0,7-1,5	Возможно при увеличенной дозе кислоты

2.2. Расчет установок Н-катионирования с «голодной» регенерацией

Возможность эффективного проведения процесса Н-катионирования с «голодной» регенерацией зависит от химического состава исходной воды и определяется следующими соотношениями:

$$K = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} = \frac{Na^+}{Ж_0}$$

$$A = \frac{HCO^-}{Cl^- + SO^{2-}} = \frac{HCO^-}{\sum A_{с.к.}}, \text{ где}$$

К-отношение, характеризующее катионный состав,

Ж₀-общая жесткость исходной воды, мг-экв/л

А-отношение, характеризующее анионный состав исходной воды,

$\sum A_{с.к.}$ -сумма анионов сильных кислот, мг-экв/л

По величине отношений К и А можно решить, как будет протекать процесс Н-катионирования с «голодной» регенерацией и рекомендовать оптимальные условия проведения процесса. Рекомендации применения процесса представлены в таблице 2–4.

При возможности осуществления «голодного» режима регенерации подбирают диаметр и количество стандартных фильтров по скорости фильтрования.

Скорости фильтрования (нормальная и максимальная) принимаются по табл.5–9

Площадь фильтрования подбирают на основании выбранного диаметра фильтра и их количества (табл.5–3) на основании формулы:

Нормальная скорость:

$$w_n = \frac{Q_H}{f_H \cdot a}$$

Максимальная скорость:

$$w_m = \frac{Q_H}{f_H \cdot (a - 1)}, \text{ где}$$

w_n, w_H —нормальная и максимальная скорости фильтрования, м/ч
(принимаются в зависимости от жесткости исходной воды, табл.5–9)

Q_H —производительность Н–катионитовых фильтров, м³/ч,

f_H —площадь фильтрования стандартного Н–катионитового фильтра, м²

a —число работающих фильтров (не менее 2)

$(a-1)$ —число работающих фильтров при регенерации одного из них.

Количество солей жесткости, удаляемое на Н–катионитовых фильтрах, определяется по формуле:

$$A_r = 24 \cdot Q_H \cdot (J_k - J_k^{\text{ост}}), \text{ где}$$

A_r —количество солей жесткости, удаляемое в режиме «голодной» регенерации в сутки, г-экв/сут

J_k —карбонатная жесткость исходной воды, поступающей на Н–катионитовый фильтр,

$J_k^{\text{ост}}$ —остаточная карбонатная жесткость, принимаемая 0,7-1,5 г-экв/м³

Число регенераций каждого фильтра в сутки n определяется по формуле:

$$n = \frac{A_r}{f_n \cdot H_{cl} \cdot E_p^H \cdot a}, \text{ где}$$

n —число регенераций каждого фильтра первой ступени в сутки,

H_{cl} —высота слоя катионита, м,

a —число работающих фильтров,

E_p^{Na} —рабочая обменная способность сульфогля при Н-катионировании с «голодной» регенерацией, г-экв/м³ (табл.2–4)

Расход 100% серной кислоты на одну регенерацию Н-катионитного фильтра определяется из уравнения:

$$Q_{к.з.}^p = \frac{E_p^r \cdot f_H \cdot H_{cl} \cdot q_p^r}{1000}, \text{ кг, где}$$

q_p^r —удельный расход серной кислоты при «голодном» режиме регенерации (по табл.2–4)

Суточный расход технической серной кислоты на регенерацию фильтров определяется по формуле:

$$Q_{т.к.}^r = \frac{Q_{к.з.}^p \cdot n \cdot a \cdot 100}{c}, \text{ кг/сут, где}$$

$Q_{т.к.}$ —расход технической соли на регенерацию фильтров, кг/сут,

c —содержание H₂SO₄ в технической серной кислоте (не менее 92%)

Расход воды на одну регенерацию Н-катионитового фильтра складывается из расхода на взрыхляющую промывку, расхода на приготовление регенерационного раствора, расхода воды на отмывку катионита.

1) Расход воды на взрыхляющую промывку фильтра, м³

$$Q_{взр.} = \frac{i \cdot f_H \cdot 60 \cdot t_{взр}}{1000}, \text{ где}$$

интенсивность промывки i (л/с·м²) и продолжительность взрыхляющей промывки $t_{взр}$ определяется из табл.5–4

2) Расход воды на приготовление регенерационного раствора кислоты на одну регенерацию определяется по формуле:

$$Q_{p.г.} = \frac{Q_{к.р.}^p \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{p.p.}}, \text{ где}$$

b —концентрация регенерационного раствора, % (табл.5–9)

$\rho_{p.p.}$ —плотность регенерационного раствора в зависимости от концентрации H₂SO₄, г/м³ (табл.15–7)

3) Расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации, м³

$$Q_{от} = q_{от} \cdot f_H \cdot H_{сл}, \text{ где}$$

$q_{от}$ —удельный расход воды на отмывку катионита, м³/м³ (табл.5–10)

Общий расход воды на одну регенерацию Н–катионитового фильтра (на собственные нужды) составляет:

$$Q_{С.Н.}^H = Q_{взр} + Q_{p.г.} + Q_{от}, \text{ где}$$

Межрегенерационный период работы каждого Н-катионитового фильтра T_H , ч, определяется из уравнения:

$$T_H = \frac{24}{n} - t_{рег}^H, \text{ где}$$

n —количество регенераций каждого фильтра в сутки,

$t_{рег}^H$ —время регенерации фильтра, ч.

Время регенерации фильтра определяется для каждого случая расчетным путем:

$$t_{рег}^{Na} = \frac{t_{взр}^H + t_{p.p.}^H + t_{от}^H}{60}, \text{ где}$$

$t_{взр}^H$ —время взрыхляющей промывки фильтра, мин (табл.5–9)

$t_{p.p.}^H$ —время пропуска регенерационного раствора зависит от концентрации регенерационного раствора и скорости пропуска его через катионит, определяется по формуле:

$$t_{p.p.}^H = \frac{Q_{p.p.} \cdot 6}{f_H}, \text{ где}$$

$t_{от}^H$ —время отмывки фильтров от продуктов регенерации, мин, при скорости отмывки $w_{от}=10$ м/ч, определяется по формуле:

$$t_{от}^H = \frac{Q_{от} \cdot 6}{f_H}.$$

Параллельное водород–натрий катионирование (Технологическая схема процесса показана на рис.)

При параллельном водород–натрий катионировании доля воды, обрабатываемой на Н–катионитовых фильтрах, определяется из уравнения:

$$y = \frac{Щ_{у.в.} - Щ_{ост}}{Ж_{у.в.} - Ж_{н.к.}}$$

$$\text{при } Щ_{у.в.} > Ж_{к.}$$

и

$$y = \frac{Щ_{у.в.} - Щ_{ост}}{Ж_{о.}}$$

$$\text{при } Щ_{у.в.} = Ж_{к.}, \text{ где}$$

y —доля воды, подлежащая умягчению на Н–катионитовых фильтрах,
 $Щ_{ост}$ —остаточная щелочность воды, мг–экв/л

Доля воды α , подлежащая умягчению на Na–катионитовых фильтрах:
 $\alpha = 1 - y$

Производительность Н–катионитовых фильтров определяется по формуле:

$$Q_{н.} = y \cdot Q, \text{ где}$$

Q —полная производительность установки водоподготовки, м³/ч.

Выбор диаметра и количества фильтров по скорости фильтрования производится на основании уравнений: Количество солей жесткости, удаляемое на Н–катионитовых фильтрах, определяется из уравнения:

$$w_{н.} = \frac{Q_{н.}}{f_{н.} \cdot a}$$

$$w_{м.} = \frac{Q_{н.}}{f_{н.} \cdot (a - 1)}, \text{ где}$$

Количество солей жесткости, удаляемое на Н–катионитовых фильтрах, определяется из уравнения:

$$A_{н.} = 24 Q_{н.} \cdot (Ж_{о.} - Ж_{ост.}), \text{ где}$$

$A_{н.}$ —количество солей жесткости, удаляемое в сутки, г–экв/сут

$Ж_{ост.}$ —остаточная жесткость после Н–катионитовых фильтров, принимается обычно 0,1 г–экв/м³

$Ж_{о.}$ —общая жесткость воды, поступающей на Н–катионитовый фильтр.

Число регенераций каждого фильтра в сутки n определяется по формуле:

$$n = \frac{A_{н.}}{f_{н.} \cdot H_{сл.} \cdot E_p^H \cdot a}, \text{ где}$$

n —число регенераций каждого фильтра в сутки, (табл.5–9)

$H_{сл.}$ —высота слоя катионита, м,

a —число работающих фильтров,

E_p^H —рабочая обменная способность Н–катионита, г–экв/м³,

Рабочая обменная способность катионита при умягчении до «проскока» катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} определяется из уравнения:

$$E_p^H = \alpha_3 \cdot \beta_{Na} \cdot E_{п.} - 0,5q \cdot C_{к.}, \text{ где}$$

α_3 —коэффициент эффективности регенерации Н–катионита (табл.5–12), принимается в зависимости от удельного расхода серной кислоты на регенерацию ,

β_{Na} —коэффициент, учитывающий снижение обменной способности по Ca^{2+} и Mg^{2+} за счет частичного задержания катионов Na^+ (табл.5–6)

C_k —общее содержание в воде катионов кальция, магния, натрия и калия, г-экв/м³.

q —удельный расход воды на отмывку катионита, (по табл.5)

Расход серной кислоты на одну регенерацию Н-катионитового фильтра определяется по формуле:

$$Q_k^P = \frac{E_p^H \cdot f_H \cdot H_{\text{сл}} \cdot q_k}{1000}, \text{ где}$$

Q_k^P —расход 100% серной кислоты на одну регенерацию, кг,

q_k —удельный расход кислоты на регенерацию катионита, г/г-экв рабочей обменной емкости катионита.

Удельный расход кислоты на регенерацию катионита принимается по графику (рис.5–5), в зависимости от солесодержания исходной воды и требуемой жесткости фильтрата, обеспечивая максимальную эффективность регенерации (табл.5–12)

Суточный расход технической соли определяется по формуле:

$$Q_{\text{к.т.}}^{\text{сум}} = \frac{Q_{\text{сум}}^K \cdot 100}{c}, \text{ где}$$

$Q_{\text{к.т.}}^{\text{сум}}$ и $Q_{\text{сум}}^K$ —расход технической и 100% серной кислоты, кг/сут,

Расход воды на регенерацию и время регенерации Н-катионитовых фильтров в режиме параллельного Н–Na-катионирования определяется так же как и в случае «голодной» регенерации.

Схемы частичного и глубокого обессоливания

Расчет Н-катионитовых фильтров I ступени ведется до «проскока» катионов жесткости в соответствии с §5–66 (парал.)

Расчет количества катионов удаляемых на Н-катионитовом фильтре II ступени производится с учетом состава воды, поступающей на Н-катионитовые фильтры.

На Н-катионитовых фильтрах I ступени удаляются катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , HCO_3^- разрушается после Н-катионирования и удаляется в декарбонизаторе, в ОН-анионитовых фильтрах I ступени удаляются анионы SO_4^- и Cl^- .

Количество катионов, удаляемых на Н-катионитовых фильтрах определяется по формуле:

$$A = 24 \cdot (\sum \text{Кат} - \text{Na}_{\text{ост}}) \cdot Q_{\text{н}}, \text{ где}$$

A —количество катионов (Ca^{2+} и Mg^{2+} , Na^+), удаляемое в сутки на Н-катионитовых фильтрах, г-экв/сут

$\sum \text{Кат}$ —содержание катионов, поступающих на Н-катионитовые фильтры, г-экв/м³,

$\text{Na}_{\text{ост}}$ —остаточное содержание натрия в частично обессоленной воде, г-экв/м³.

Для Н-катионитовых фильтров I ступени $\text{Na}_{\text{ост}}$ принимают равной исходной концентрации ионов Na.

При расчете Н-катионитовых фильтров II ступени при $[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{ост}}=0$, $[\text{Na}^+]_{\text{ост}}$ принимают равным:

$$[\text{Na}^+]_{\text{ост}} = [\text{SiO}_3^{2-}] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{Cl}^-]$$

Число регенераций Н–катионитовых фильтров определяется из уравнения:

$$n = \frac{A_k}{f_H \cdot H_{cl} \cdot E_p^H \cdot a}, \text{ где}$$

f_H –площадь стандартного фильтра, м²,

H_{cl} –высота слоя катионита, м,

E_p^H –рабочая обменная способность катионита, г–экв/м³

a –число рабочих фильтров.

Рабочая обменная способность катионита при Н–катионировании определяется из уравнения:

$$E_p^H = \alpha_3 \cdot E_{пол}^H - 0,5q \cdot (Ж_0 + C_{Na}), \text{ где}$$

α_3 –коэффициент эффективности регенерации, составляет 0,9–0,93,

$E_{пол}^H$ –полная динамическая способность катионита, г–экв/м³, принимается по паспортным данным,

q –удельный расход отмывочной воды, поступающей на Н–катионитные фильтры, г–экв/м³

(по табл.5–10)

C_{Na} –концентрация натрия в обрабатываемой воде, г–экв/м³ (для Н–катионитных фильтров натрия не задерживается).

Расход 100% серной кислоты на одну регенерацию Н–катионитовых фильтров III ступени при частичном обессоливании, кг, определяется из уравнения:

$$Q_k = \frac{E_p^H \cdot f_H \cdot H_{cl} \cdot q_k}{1000}, \text{ где}$$

q_k –удельный расход серной кислоты, принимается по графику (рис.5–6) в зависимости от содержания обессоленной воды и конструкции фильтра (обычный или противоточный), г/г–экв

Воды на регенерацию Н–катионитового фильтра определяется по уравнениям:

1) Расхода воды на взрыхляющую промывку фильтра:

$$Q_{взр.} = \frac{i \cdot f_H \cdot 60 \cdot t_{взр}}{1000}, \text{ где}$$

i –интенсивность взрыхляющей промывки, л/(с·м²),

$t_{взр}$ –продолжительность взрыхляющей промывки, мин, (принимается по данным табл.5–4)

2) Расхода воды на приготовление регенерационного раствора, %, (принимается по табл.):

$$Q_{p.p.} = \frac{Q_{к.з.}^p \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{p.p.}}, \text{ где}$$

b –концентрация регенерационного раствора, % (принимается по табл.5–9)

$\rho_{p.p.}$ –плотность регенерационного раствора кислоты в зависимости от концентрации H₂SO₄, т/м³ (табл.15–7)

3) Расхода воды на отмывку катионита от продуктов регенерации, м³:

$Q_{от} = q_{от} \cdot f_n \cdot H_{сл}$, где
 $q_{от}$ – удельный расход воды на отмывку катионита, м³/м³ (по табл.5–10)

Для Н–катионитовых фильтров II ступени следует принимать:

скорость фильтрования: $w = 50$ м/ч

высоту слоя загрузки: $H_{сл} = 1.5$ м

удельный расход серной кислоты (100%) – 100 г на 1 г-экв катионов

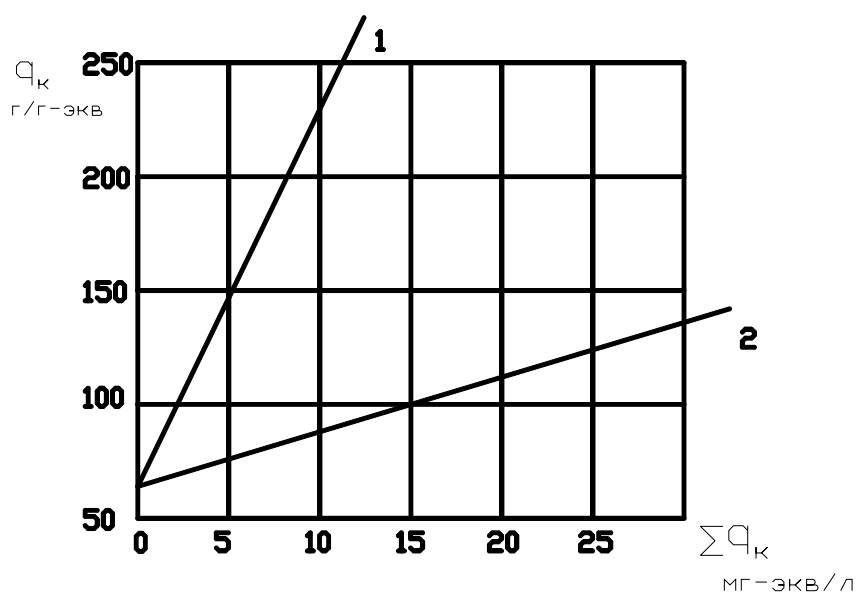
сумму поступающих на фильтр катионов: C_{Na}

емкость поглощения сульфогугля и катионита КУ–1 – 200 г-экв/м³, катионита

КУ–2 – 700–800 г-экв/м³

расход воды на отмывку катионита – 10 м³ на 1 м³ катионита

время регенерации и отмывки фильтров следует принимать 3 ч.



Удельный расход серной кислоты в зависимости от суммарного содержания анионов сильных кислот

2.5. Анионитовые фильтры

В качестве анионитовых фильтров используются стандартные Н–катионитовые фильтры.

Расчет анионитовых фильтров I ступени со слаб. Ан–2ф производится на основании следующих исходных данных:

- 1) производительности фильтров, м³/ч
- 2) условий регенерации фильтров
- 3) качественного состава воды, поступающей на анионитовые фильтры.
- 4) Технологические данные для расчета анионитовых фильтров приведены в табл.

Предварительный подбор количества и диаметров фильтров производится по скорости фильтрования:

$$w_n = \frac{Q_a}{f_a \cdot a}$$

$$w_m = \frac{Q_a}{f_a \cdot (a-1)}, \text{ где}$$

w_n, w_m – нормальная и максимальная скорости фильтрования, м/ч
(принимаются по рекомендуемым величинам, табл.5–13)

Q_a – производительность анионитовых фильтров, м³/ч,

f_a – площадь анионитового фильтра, м²

a – количество постоянно работающих фильтров (принимается по табл.5–13)

Количество анионов сильных кислот, удаляемых на анионитовых фильтрах, г–экв/сут, определяется по формуле:

$$A_{c.k.} = 24 \cdot Q_a \cdot (C_{c.k.} - C_{c.k.}^{ост}), \text{ где}$$

$C_{c.k.}$ – концентрация анионов сильных кислот в воде, г–экв/м³,

$C_{c.k.}^{ост}$ – остаточное содержание анионов кислот (сумма хлоридов и сульфатов в обес-солённой воде)

(принимается, $C_{c.k.}^{ост} = 0$, т. е. на I ступени анионирования удаляются хлориды и сульфаты)

Число регенераций анионитовых фильтров в сутки, определяется по формуле:

$$n = \frac{A_{c.k.}}{f_a \cdot H_{cl} \cdot E_p^a \cdot a}, \text{ где}$$

n – число регенераций каждого фильтра первой ступени в сутки,

H_{cl} – высота слоя катионита, м,

a – число работающих фильтров,

E_p^a – рабочая обменная способность анионита:

$$E_p^a = \alpha_a^a \cdot E_a - 0,8 \cdot q \cdot C_{c.k.}, \text{ где}$$

т

α_a^a – коэффициент эффективности регенерации анионита, зависящий от удельного расхода щелочи (при расходе NaOH 60 г–экв/м³, $\alpha_a^a = 0,8–0,9$)

E_a – полная обменная способность анионита, г–экв/м³, (табл.5–13)

q – удельный расход воды на отмывку анионита, м³/м³ (табл.5–13),

Расход 100% NaOH на одну регенерацию анионитового фильтра, кг, определяется по уравнению:

$$Q_{NaOH} = \frac{E_p^a \cdot f_a \cdot H_{cl} \cdot q_{NaOH}}{1000}, \text{ где}$$

q_{NaOH} – удельный расход NaOH, г/г–экв (табл.5–13) на регенерацию анионитового фильтра складывается из:

1) Расход воды на взрыхляющую промывку, м³

$$Q_{взр.} = \frac{i \cdot f_a \cdot 60 \cdot t_{взр}}{1000}, \text{ где}$$

i – интенсивность взрыхляющей промывки фильтров, л/с·м² (табл.5–13)

$t_{взр}$ – продолжительность взрыхляющей промывки, мин (табл.5–13)

2) Расход воды на приготовление регенерационного раствора щелочи, м³:

$$Q_{p.p.} = \frac{Q_{NaOH} \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{p.p.}}, \text{ где}$$

b – концентрация едкого натра в регенерационном растворе, % (принимается по табл.5–13)

$\rho_{p.p.}$ – плотность регенерационного раствора, т/м³, (по табл.15–9)

3) Расход воды на отмывку анионита от продуктов регенерации, м³

$$Q_{от} = q_{от} \cdot f_N \cdot H_{сл}, \text{ где}$$

$q_{от}$ – удельный расход воды на отмывку анионита, м³/м³ (табл.5–13)

Технические данные для расчета анионитовых фильтров

Таблица 5–13

Показатель	I ступень	II ступень	противоток
Анионит АН–31 (низкоосновной):			
крупность зерен	0,4–2		
полная динамическая емкость поглощения, г–экв/м ³	800		
высота слоя анионита в фильтре			
скорость фильтрования, м/ч	до 20		
Анионит (высокоосновной) АВ-17			
полная динамическая емкость поглощения, г–экв/м ³			
высота слоя анионита в фильтре			
Взрыхление:			
интенсивность, л/(с·м ²)	3		
продолжительность, мин	30		
Регенерация анионита:			
удельный расход NaOH, г/г–экв	60		
концентрация раствора, %	4		
скорость пропуска, м/ч	4		
Отмывка анионита			
удельный расход воды, м ³ /м ²	20		
скорость пропуска, м/ч	8–10		
продолжительность регенерации	по расчету		

Расход воды на одну регенерацию анионитового фильтра составляет:

$$Q_{с.н.}^a = Q_{взр} + Q_{p.p.} + Q_{от}, \text{ где}$$

Межрегенерационный период работы фильтра определяется из уравнения:

$$T_a = \frac{24}{n} - t_{рег}^a, \text{ где}$$

n —количество регенераций Na-катионитового фильтра в сутки,

$t_{рег}^a$ —время регенерации анионитового фильтра, ч:

$$t_{рег}^a = t_{взр}^a + t_{p.p}^a + t_{от}^a, \text{ где}$$

$t_{взр}^a$ —время взрыхляющей промывки фильтра, мин (табл.5–13.)

$t_{p.p}^a$ —время пропуска регенерационного раствора через анионитовый фильтр, мин, определяется по формуле:

$$t_{p.p}^a = \frac{Q_{p.p.} \cdot 60}{w_{p.p.} \cdot f_a}, \text{ где}$$

$Q_{p.p.}$ —количество регенерационного раствора, м³

$w_{p.p.}$ —скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч (табл.5–13)

$t_{от}^a$ —время отмывки анионита от продуктов регенерации, мин, определяется по формуле:

$$t_{от}^a = \frac{Q_{от} \cdot 60}{w_{от} \cdot f_a}, \text{ где}$$

$Q_{от}$ —расход воды на отмывку анионита, м³

$w_{от}$ —скорость отмывки анионита от продуктов регенерации, м/ч (по табл.5–13)

Проверяем выбранную площадь фильтрования на основе рассчитанной продолжительности работы фильтров:

$$F = \frac{Q}{n \cdot w \cdot \left(\frac{24}{n} - t_{рег}^a \right)}, \text{ где}$$

$Q_{пол.уст.}$ —полезная производительность установки, м³/ч

T —количество часов работы установки в течение суток,

n —число регенераций в течение суток.

Для анионитовых фильтров II ступени:

Загрузку следует предусматривать сильноосновным анионитом (AB–17) при толщине слоя 1,5м.

При расчете анионитовых фильтров II ступени скорость фильтрования следует принимать 10–15 м/ч.

Кремнеемкость анионита AB–17 при истощении анионита до «проскока» в фильтрат SiO_3^{2-} 0,1–0,5мг/л следует принимать 420–530 г–экв/м³.

Минимальное остаточное содержание SiO_3^{2-} в фильтрате –0,05 0мг/л.

Для высокоосновных анионитов AB–17 регенерацию следует проводить 4% раствором NaOH.

Удельные расходы NaOH на регенерацию анионита AB–17 принимать при истощении анионита до «проскока» SiO_3^{2-} 0,1мг/л – 500 г/г–экв поглощенного SiO_3^{2-} и до 0,5 мг/л – 397 г/г–экв поглощенного SiO_3^{2-} .

3. РАСЧЕТЫ ПО ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМ СООРУЖЕНИЯМ

Узлы хранения реагентов, расходные и промывные баки

Для *H*-катионитовых фильтров:

1. Расход технической серной кислоты на регенерацию фильтров в сутки определяется по формуле:

$$Q_{H_2SO_4}^{cym} = \frac{Q_{\kappa}^p \cdot n \cdot a \cdot 100}{c}, \text{ где}$$

Q_{κ}^p -расход серной кислоты на одну регенерацию, кг
с-содержание H_2SO_4 в технической серной кислоте (92%).

2. Объем суточного расхода технической серной кислоты определяется по формуле:

$$V_{H_2SO_4}^{cym} = \frac{Q_{H_2SO_4}^{cym}}{1000 \cdot 1,83}, \text{ где}$$

1,83-плотность 92% раствора H_2SO_4 , т/м³

Емкость мерника H_2SO_4 на суточный запас кислоты:

$$V_{H_2SO_4}^{мер} = 1,3 \cdot V_{H_2SO_4}^{cym}$$

К установке принимают баки цилиндрической формы.

3. Резервуар хранения крепкой серной кислоты.

Необходимая емкость бака для хранения месячного запаса кислоты определяется по формуле:

$$V_{H_2SO_4}^{\delta} = 1,3 \cdot V_{H_2SO_4}^{cym} \cdot 30, \text{ м}^3$$

Для хранения крепкой серной кислоты принимают стандартные резервуары цилиндрической формы

Для *ОН*-катионитовых фильтров:

1. Расход технического 42% едкого натра м³/сут, определяется по формуле:

$$Q_{NaOH}^{cym} = \frac{Q_{NaOH} \cdot n \cdot a \cdot 100}{1000 \cdot 42 \cdot \rho_{42}}, \text{ где}$$

Q_{NaOH} -расход 100% едкого натра на одну регенерацию *ОН*-катионитового фильтра, кг
42-содержание $NaOH$ в техническом продукте, %

ρ_{42} -плотность технического 42% раствора $NaOH$, т/м³-(1,449)

2. Емкость мерника $NaOH$ на суточный запас щелочи:

$$V_{NaOH}^{мер} = 1,3 \cdot V_{NaOH}^{cym}$$

3. Резервуар хранения месячного запаса технического 42% раствора $NaOH$ определяется по формуле:

$$V_{NaOH}^{\delta} = 1,3 \cdot V_{NaOH}^{cym} \cdot 30$$

Оборудование для хранения и расходования поваренной соли NaCl

Хранение реагентов в водоподготовительных установках котельных предусматривают в помещении водоподготовки. Склад рассчитывают на 30–дневный запас реагентов.

Мокрое хранение соли для удобства эксплуатации осуществляют не менее чем в двух железобетонных резервуарах.

Объем резервуаров мокрого хранения определяют по формуле:

$$V_{NaCl} = \frac{1,5 \cdot Q_c^{cym} \cdot (b + p)}{1000}, \text{ где}$$

V_{NaCl} – объем резервуара для мокрого хранения реагента, м³

1,5 – расчетный объем баков мокрого хранения на 1 т реагента, м³

Q_c^{cym}

– расход технической соли, кг/сут, определяемой по формуле:

$$Q_{m.c.}^{cym} = \frac{Q_c^{NaCl} \cdot n \cdot a \cdot 100}{93}, \text{ где}$$

Q_c^{NaCl}

– расход поваренной соли на одну регенерацию фильтра, кг

93 – содержание NaCl в технической соли, %

b – необходимый запас соли на 30 суток, кг

p – остаток соли на 5–10 суток, предусматриваемый перед поступлением проектируемого запаса, кг

Хранение крепкого (26%-ого) раствора соли осуществляется в мерниках или расходных баках, емкость которых принимается по суточному расходу.

Объем мерника определяется по формуле:

$$V_{26} = \frac{Q_c^{Na} \cdot n \cdot a \cdot 100}{1000 \cdot 26 \cdot \rho_{26}}, \text{ где}$$

V_{26} – объем крепкого (26%) раствора соли, расходуемого в сутки, м³/сут

Q_c^{Na}

– расход соли на одну регенерацию фильтра, кг

n – число регенераций каждого фильтра в сутки,

ρ_{26} – плотность 26% раствора NaCl, принимаемая 1,197

4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА

Проведение технико-экономического обоснования (ТЭО) проекта необходимо для определения себестоимости очищенной воды и сравнения предлагаемых проектом решений с другими конкурентоспособными.

Для объективной оценки экономического преимущества того или иного проекта, используется формула:

$$\Delta = \Pi_1 - \Pi_2 = (\Delta_1 + kK_1) - (\Delta_2 + kK_2),$$

где:

Δ – экономический эффект,

Π_1 и Π_2 – приведенные затраты, определяемые как $\Delta + kK$,

где:

Δ – годовые эксплуатационные затраты,

К-капитальные затраты,
к-коэффициент окупаемости, принимаемый 0,15-0,16 (исходя из окупаемости объекта за 6-7 лет)

Для расчета эксплуатационных затрат используются данные:

$$\frac{Q \cdot H}{\eta}$$

1. Стоимость электроэнергии (определяется по формуле $\frac{Q \cdot H}{\eta}$, кВт)
2. Стоимость реагентов. Для установок ионного обмена - стоимость кислоты, щелочи, поваренной соли. Для установок обратного осмоса – химикатов предочистки (ингибитора), моющих растворов, химикатов пост-очистки.
3. Заработная плата обслуживающего персонала
4. Амортизационные отчисления
16%-замена мембран 1 раз в 6 лет для мембранных установок;
10%-на насосное и электрическое оборудование;
5%-на замену и досыпку ионитов;
5. Отчисления на текущий ремонт, %

5. Принципы компоновки и компоновочные решения станций с ионообменными установками.

При компоновке зданий для станций водоочистки намечают и предусматривают основные помещения для:

системы предочистки (с отделениями для осветлителей, механических фильтров, баков осветленной воды, аэраторов и др.)

насосных станций подачи осветленной воды, подачи фильтрованной воды, промывки фильтров предочистки, а также насосов для обслуживания ионообменных фильтров: насосов взрыхления, подачи регенерационных растворов, подачи отмывочной воды

склада реагентов мокрого хранения коагулянта, известкового хозяйства, мокрого хранения поваренной соли, кислотного хозяйства, щелочного хозяйства, расходных и растворных баков

помещения для ионообменного оборудования, где размещаются: ионообменные фильтры, дегазаторы, баки-мерники поваренной соли, кислоты и щелочи, баки отмывочной воды, баки умягченной воды

Размещение ионообменных фильтров должно обеспечивать простор для монтажа и демонтажа соединительных трубопроводов, арматуры, насосных агрегатов.

Для станций водоподготовки энергетических объектов баки сбора умягченной или обессоленной воды выполняют обычно из нержавеющей стали круглыми в плане, вертикального типа, и располагают в зале химводоочистки.

Среди необходимых помещений следует показать примыкающий к залу диспетчерский пункт, механическую мастерскую, электроцех, электрощитовую, химическую лабораторию.

На проекте здания станции необходимо указать пути подвода реагентов (ж/д пути, ворота).

Строительно-конструктивная часть здания должна быть грамотно проработана, указаны длины пролетов, расстояния между колоннами и т.д.

Примеры компоновочных решений станций с различными схемами умягчения и обессоливания воды представлены в приложении.