

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ  
Руководитель НОЦ И.Н. Бутакова

\_\_\_\_\_ А.С. Заворин  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## **РАСЧЕТ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Методические указания для выполнения индивидуального домашнего задания по дисциплинам «Технология подготовки воды», «Водоподготовка», «Обработка воды на АЭС» для студентов IV курса, обучающихся по направлениям 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.03 «Энергетическое машиностроение»,

*Составители* **Е.С. Воронцова, Т.С. Тайлашева, К.В. Буваков**

Томский политехнический университет  
2018

УДК 621.311.2:621.182.12(075.8)

ББК 31.277:31.37я73

Р24

Р24 Расчет водоподготовительной установки: методические указания для выполнения индивидуального домашнего задания по дисциплинам «Технология подготовки воды», «Водоподготовка», «Обработка воды на АЭС» для студентов IV курса, обучающихся по направлениям 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.03 «Энергетическое машиностроение». / сост.: Е.С. Воронцова, Т.С. Тайлашева, К.В. Буваков; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 32 с.

УДК 621.311.2:621.182.12(075.8)

ББК 31.277:31.37я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ  
«\_\_\_»\_\_\_\_\_2018 г.

Руководитель НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ  
доктор технических наук,  
профессор

\_\_\_\_\_ *А.С. Заворин*

Председатель  
учебно-методической комиссии  
направления 13.03.03 «Энергетическое  
машиностроение»

\_\_\_\_\_ *К.В. Буваков*

*Рецензент*

Кандидат технических наук,  
доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ  
*А.М. Антонова*

© Составление. ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2018

© Воронцова Е.С., Тайлашева Т.С., Буваков К.В. составление, 2018

## Оглавление

Введение.....	4
1. Исходные данные .....	5
2. Расчетная часть.....	8
2.1. Расчет фильтров смешанного действия с внутренней регенерацией.....	8
2.2. Расчет анионитных фильтров второй ступени $A_2$ .....	11
2.3. Расчет водород-катионитных фильтров второй ступени $H_2$ .....	15
2.4. Расчет анионитных фильтров первой ступени $A_1$ .....	17
2.5. Расчет противоточных водород-катионитных фильтров первой ступени $H_1$ .....	20
2.6. Расчет механических фильтров.....	23
2.7. Расчет осветлителя .....	25
3. Технологическая схема .....	27
Технологические характеристики катионов и анионов.....	28
Список литературы .....	31

## **Введение**

Современное развитие тепловой и атомной энергетики требует применения огромного количества различных ресурсов, в том числе и водных. Вода используется как теплоноситель, компонент для приготовления и разбавления, охлаждения. Каждое отдельное производство или технология требуют получения воды определенного качества.

Соблюдение норм водного режима является одной из ключевых задач, позволяющих обеспечить надежную и безопасную работу АЭС и ТЭС. От чистоты теплоносителя зависит ресурс всего оборудования, даже небольшие отклонения от норм могут привести к усилению коррозии, ухудшению теплообмена, преждевременным повреждениям.

Для каждого источника воды требуется индивидуальный анализ и расчет ВПУ для промышленной водоподготовки. Промышленная водоподготовка представляет собой комплекс операций, обеспечивающих очистку воды – удаление из нее вредных примесей, находящихся в молекулярно-растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии. Основные операции водоподготовки: очистка от взвешенных примесей отстаиванием и фильтрованием, умягчение, а в отдельных случаях – обессоливание, нейтрализация, дегазация и обеззараживание.

## 1. Исходные данные

При проектировании водоподготовительных установок производится выбор источника водоснабжения, производительности установки, принципиальной схемы, выполняются технологические расчеты, чертежи развернутой схемы установки и компоновки оборудования.

Технологический расчет водоподготовительной установки в данных методических указаниях представлен для следующей схемы: коагуляция в осветлителях, фильтрование на механических фильтрах, двухступенчатое обессоливание на Н-катионитных и анионитных фильтрах с промежуточной декарбонизацией после Н-катионитного фильтра второй ступени, фильтрование на фильтре смешанного действия.

Принципиальная технологическая схема обессоливающей водоподготовительной установки (ОВПУ) представлена на рисунке 1. Качество исходной воды приведено в таблице 1.

Таблица 1

*Среднегодовые показатели качества исходной воды (р. Иртыш)*

№ п/п	Наименование показателя	Размерность	Значение
1.	Жесткость общая	мг-экв/дм <sup>3</sup>	2,62
2.	Жесткость кальциевая	мг-экв/дм <sup>3</sup>	1,71
3.	Жесткость магниевая	мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,89
4.	рН	—	7,98
5.	Щелочность фф/общая	мг-экв/дм <sup>3</sup>	0/2,25
6.	Содержание натрия	мг/дм <sup>3</sup>	25,3
7.	Содержание хлоридов	мг/дм <sup>3</sup>	21,6
8.	Содержание сульфатов	мг/дм <sup>3</sup>	41,2
9.	Содержание кремниевой кислоты	мг/дм <sup>3</sup>	6,2
10.	Содержание нитратов	мг/дм <sup>3</sup>	0,89
11.	Содержание нитритов	мг/дм <sup>3</sup>	0,02
12.	Содержание аммиака	мг/дм <sup>3</sup>	0,21
13.	Окисляемость перманганатная	мгО/дм <sup>3</sup>	10,3
14.	Содержание взвешенных веществ	мг/дм <sup>3</sup>	29,3
15.	Содержание соединений железа	мг/дм <sup>3</sup>	0,48
16.	Солесодержание	мг/дм <sup>3</sup>	202
17.	Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,13

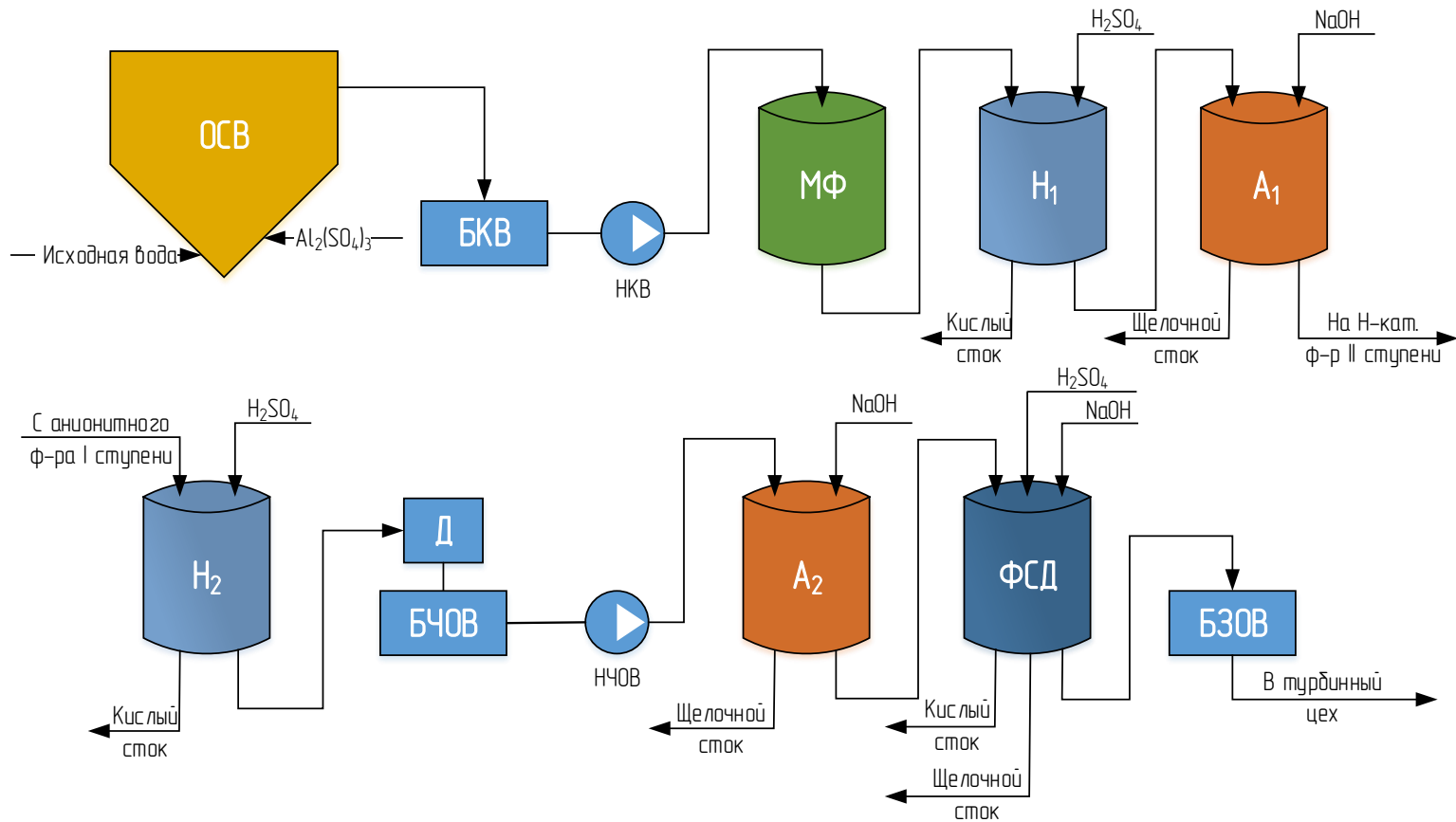


Рис. 1. Принципиальная схема ОВПУ:

ОСВ – осветлитель; БКВ – бак коагулированной воды; НКВ – насос коагулированной воды; МФ – механический фильтр; Н<sub>1</sub>, Н<sub>2</sub> – Н-катионитные фильтры первой и второй ступени соответственно; А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub> – анионитные фильтры первой и второй ступени соответственно; Д – декарбонизатор; БЧОВ – бак частично-обессоленной воды; НЧОВ – насос частично-обессоленной воды; БЗОВ – бак запаса обессоленной воды; ФСД – фильтр смешанного действия.

Таблица 2

## Показатели качества воды по ступеням обработки

№ п/п	Наименование показателя	Размерность	Исх. вода	ОСВ	МФ	Н <sub>1</sub>	А <sub>1</sub>	Н <sub>2</sub>	А <sub>2</sub>	ФСД
1.	Жесткость общая	мг-экв/дм <sup>3</sup>	2,62	2,62	—	0,02	—	0,0002	0,0002	<0,0001
2.	Жесткость кальциевая	мг-экв/дм <sup>3</sup>	1,72	—	—	—	—	—	—	—
3.	Жесткость магниевая	мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,9	—	—	—	—	—	—	—
4.	Щелочность фф/общая	мг-экв/дм <sup>3</sup>	0/2,25	0/1,44	—	—	0,18	—	0/0,02	—
5.	Кислотность общая	мг-экв/дм <sup>3</sup>	—	—	—	1,3	—	0,1	—	—
6.	рН	—	7,98	7,1	—	—	—	—	7,0	7,0
7.	Содержание натрия	мг/дм <sup>3</sup>	29	—	—	—	—	0,25	0,2	0,002
8.	Содержание хлоридов	мг/дм <sup>3</sup>	24,7	—	—	—	0,4	—	0,003	0,002
9.	Содержание сульфатов	мг/дм <sup>3</sup>	42	78,4	—	—	—	—	—	—
10.	Содержание кремниевой кислоты	мг/дм <sup>3</sup>	6,1	—	—	—	4,8	—	0,15	0,02
11.	Окисляемость перманганатная	мгО/дм <sup>3</sup>	8,2	4,1	—	—	—	—	—	—
12.	Содержание соединений железа	мг/дм <sup>3</sup>	1,38	0,78	0,65	—	—	—	0,011	0,005
13.	Содержание соединений алюминия	мг/дм <sup>3</sup>	0,68	—	0,98	—	—	—	0,005	—
14.	Удельная электропроводность	мкСм/см	361	—	—	—	—	—	1,3	1,2
15.	Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	21,3	5	<3	—	—	—	—	—

На каждой ступени обработки воды удаляется определенное количество примесей, которое задается заранее. Показатели качества воды после обработки на каждой из ступеней даны в таблице 2. Качество воды на выходе из установки должно соответствовать нормативным, которые, в свою очередь, зависят от назначения.

## 2. Расчетная часть

Поскольку кроме объема воды, который требуется подать на выходе из установки (производительность водоподготовительной установки), требуется так же подготовить некоторый объем воды, затрачиваемый на собственные нужды и количество которого заранее неизвестно, то расчет схемы производят с конца установки, в данном случае – с фильтра смешанного действия (ФСД).

### 2.1. Расчет фильтров смешанного действия с внутренней регенерацией

В фильтре (рис. 2) в качестве фильтрующего материала используется смесь сильнокислотного катионита и сильноосновного анионита. Аниониты и катиониты имеют различные характеристики в зависимости от типа и производителя, которые даны в таблицах 1.1–1.5 (приложение 1).

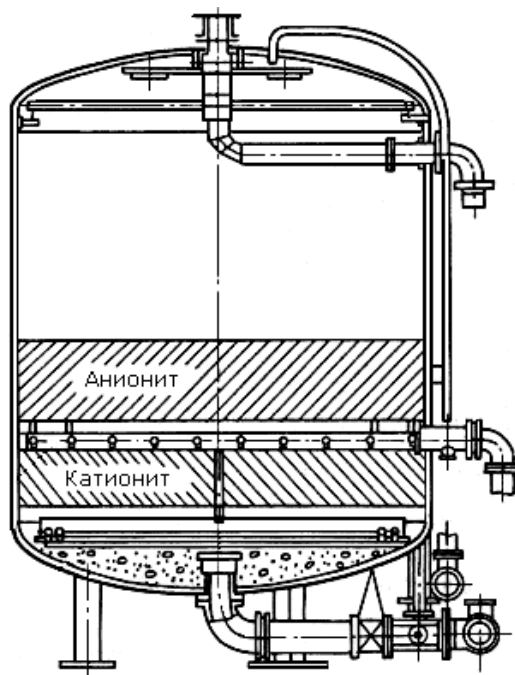


Рис. 2. Вид фильтра смешанного действия



Необходимо предварительно выбрать скорость фильтрования воды, для первого приближения скорость фильтрования на ФСД  $w = 50$  м/ч.

Требуемая площадь фильтрования при скорости фильтрования  $w$ , м/ч:

$$F = \frac{Q_{\text{впу}}}{w}, \text{ м}^2.$$

Выбирается число фильтров в работе  $n$  и число фильтров на регенерации  $n_p$ , тогда площадь одного фильтра:

$$f = \frac{F}{n}, \text{ м}^2.$$

По полученному значению выбирается ближайший размер стандартного фильтра  $f_{\text{ст}}$  (табл. 3).

Таблица 3

*Конструктивные показатели ионитных фильтров*

Наименование показателя	Значение						
<b>Ионитные фильтры параллельноточные</b>							
Диаметр фильтра, $D$ , мм	700	1000	1500	2000	2600	3000	3400
Площадь фильтрования, $f$ , м <sup>2</sup>	0,38	0,78	1,78	3,14	5,3	7,1	9,1
Высота слоя ионита в фильтрах второй ступени, $h_{\text{сл}}$ , м	–	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Высота слоя ионита в фильтрах первой ступени, $h_{\text{сл}}$ , м	2	2	2	1,8	1,8	1,8	1,8
<b>Ионитные фильтры противоточные</b>							
Диаметр фильтра, $D$ , мм	700	1000	1400	2000	2600	3000	3400
Площадь фильтрования, $f$ , м <sup>2</sup>	0,38	0,78	1,78	3,14	5,3	7,1	9,1
Высота слоя ионита, $h_{\text{сл}}$ , м	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
<b>Фильтры смешанного действия с внутренней регенерацией</b>							
Диаметр фильтра, $D$ , мм	1400	2000	2600	3000	3400		
Площадь фильтрования, $f$ , м <sup>2</sup>	1,54	3,14	5,3	7,1	9,1		
Высота слоя в фильтра смешанного действия $h_{\text{сл}}$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		

Соотношение катионита и анионита в фильтрующем слое примем  $K \div A = 1 \div 1$ , тогда:

$$h_{\text{кат}} = h_{\text{ан}} = h_{\text{сл}}/2.$$

Действительная скорость фильтрования:

$$w = \frac{Q_{\text{впу}}}{n \cdot f}, \text{ м/ч.}$$

Длительность фильтроцикла ФСД после пропуска  $10^4 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  смеси ионитов:

$$T + \tau = \frac{10^4 \cdot f \cdot h_{\text{сл}} \cdot n}{Q_{\text{впу}}}, \text{ ч.}$$

Суточное число регенераций фильтра:

$$m = \frac{24 \cdot n}{T + \tau}.$$

Расход 100 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на регенерацию принимается в пределах

$$q_k = 50 - 100 \text{ кг/м}^3.$$

Необходимое количество  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на одну регенерацию:

$$\sigma^{\text{H}_2\text{SO}_4} = f \cdot h_{\text{кат}} \cdot q_k, \text{ кг.}$$

Суточный расход 100%-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на регенерацию:

$$\sigma_{\text{сут}}^{\text{H}_2\text{SO}_4} = \sigma^{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot m, \text{ кг.}$$

Расход 100 %-ного  $\text{NaOH}$  на регенерацию принимается в пределах:

$$q_{\text{NaOH}} = 30 - 60 \text{ кг/м}^3.$$

Необходимое количество  $\text{NaOH}$  на одну регенерацию:

$$\sigma^{\text{NaOH}} = f \cdot h_{\text{ан}} \cdot q_{\text{NaOH}}, \text{ кг.}$$

Суточный расход 100%-ного  $\text{NaOH}$  на регенерацию:

$$\sigma_{\text{сут}}^{\text{NaOH}} = \sigma^{\text{NaOH}} \cdot m, \text{ кг.}$$

Расход воды на разделение фильтрующего слоя на катионит и анионит (при скорости  $w_{\text{разд}} = 10 \text{ м/ч}$  и времени  $\tau_{\text{разд}} = 25 \text{ мин}$ ):

$$V_{\text{разд}} = \frac{w_{\text{разд}} \cdot f \cdot \tau_{\text{разд}}}{60}, \text{ м}^3.$$

Объем воды на установление встречных потоков воды до начала регенерации (при скорости  $w_{\text{в.п.}} = 5 \text{ м/ч}$  и времени  $\tau_{\text{в.п.}} = 10 \text{ мин}$ ):

$$V_{\text{в.п.}} = \frac{2 \cdot w_{\text{в.п.}} \cdot f \cdot \tau_{\text{в.п.}}}{60}, \text{ м}^3.$$

Расход воды на приготовление 3%-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :

$$V_3^{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{\sigma^{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot 100}{3 \cdot 10^3}, \text{ м}^3.$$

Расход воды на приготовление 4%-ного  $\text{NaOH}$ :

$$V_4^{\text{NaOH}} = \frac{\sigma^{\text{NaOH}} \cdot 100}{4 \cdot 10^3}, \text{ м}^3.$$

Расход воды на отдельную одновременную отмывку катионита и анионита встречными потоками (при скорости  $w_{p.o.} = 5$  м/ч и времени  $\tau_{p.o.} = 60$  мин):

$$V_{p.o.} = \frac{2 \cdot w_{p.o.} \cdot f \cdot \tau_{p.o.}}{60}, \text{ м}^3.$$

Расход воды на доотмывку фильтрующего слоя после перемешивания ее воздухом (удельный расход принимается равным  $a_{H_2O} = 5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ):

$$V_{до} = f \cdot h_{сл} \cdot a_{H_2O}, \text{ м}^3.$$

Суммарный расход воды на собственные нужды ФСД:

$$V_{\Sigma} = V_{разд} + V_{в.п.} + V_3^{H_2SO_4} + V_4^{NaOH} + V_{p.o.} + V_{до}, \text{ м}^3.$$

Часовой расход воды на собственные нужды ФСД:

$$q_{с.н.}^{ФСД} = \frac{m \cdot V_{\Sigma}}{24} =, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Время пропускания регенерационного раствора кислоты ( $w_k = 5$  м/ч):

$$\tau_k = \frac{V_3^{H_2SO_4} \cdot 60}{f \cdot w_k}, \text{ мин}.$$

Время пропускания регенерационного раствора щелочи ( $w_{щ} = 5$  м/ч):

$$\tau_{щ} = \frac{V_4^{NaOH} \cdot 60}{f \cdot w_{щ}}, \text{ мин}.$$

Время доотмывки фильтрующего слоя ( $w_{до} = 10$  м/ч):

$$\tau_{до} = \frac{V_{до} \cdot 60}{f \cdot w_{до}}, \text{ мин}.$$

Суммарное время регенерации ФСД с учетом перемешивания фильтрующего слоя воздухом ( $\tau_{пер.} = 30$  мин и затрат времени на неучтенные операции  $\tau_{неучт} = 30$  мин):

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{разд} + \tau_{в.п.} + \tau_{p.o.} + \tau_k + \tau_{пер.} + \tau_{до} + \tau_{неучт}, \text{ ч}.$$

## 2.2. Расчет анионитных фильтров второй ступени А<sub>2</sub>

Суммарное количество всех анионов, подлежащих удалению из Н-катионированной воды в анионитных фильтрах второй ступени, равно сумме удаляемых анионов сильных и слабых кислот:

$$\begin{aligned} \Sigma \text{АН}^{II} &= \Sigma \text{АН}_{\text{слаб.к}}^{II} + \Sigma \text{АН}_{\text{сил.к}}^{II}, \text{ мг - экв/дм}^3; \\ \Sigma \text{АН}_{\text{слаб.к}}^{II} &= C_{\text{SiO}_3^{2-}}^{II} + C_{\text{CO}_3^{2-}}^{II} + C_{\text{HCO}_3^-}^{II}, \end{aligned}$$

$$\Sigma A_{\text{н}_{\text{сил.к}}}^{\text{II}} = C_{\text{Cl}^-}^{\text{II}} + C_{\text{SO}_4^{2-}}^{\text{II}}.$$

Фильтры А<sub>2</sub> загружаются зернами сильноосновного анионита (выбирается по табл. 1.5 в приложении 1).

Расчетная производительность:

$$Q_{\text{A}_2} = Q_{\text{ВПУ}} + q_{\text{с.н.}}^{\text{ФсД}}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Принимаем обменную емкость анионита по таблице 1.5 (приложение 1):

$$E_{\text{р}}^{\text{A}_2}, \text{ г} - \text{экв}/\text{м}^3.$$

Необходимое количество анионита оценивается по формуле:

$$V_{\text{A}} = \frac{\Sigma A_{\text{н}}^{\text{II}} \cdot Q_{\text{A}_2} \cdot 24}{E_{\text{р}}^{\text{A}_2}}, \text{ м}^3.$$

Максимально допустимая высота слоя загрузки анионита в фильтрах второй ступени  $h_{\text{сл}} = 1,5$  м, находим необходимую суммарную площадь фильтрования всех работающих анионитных фильтров:

$$F = \frac{V_{\text{A}}}{h_{\text{сл}}}, \text{ м}^2.$$

Посчитаем число стандартных фильтров с характеристиками (см. табл. 3): диаметр –  $D$ , мм; площадь фильтрования –  $f$ , м<sup>2</sup>, которое потребуется для обработки такого объема воды:

$$n = \frac{F}{f}.$$

Принимаем к установке  $n_{\text{общ}}$  (с запасом) стандартных фильтров, из которых будут в работе  $n$ , а 1–2 фильтра будут служить для гидрорегулировки анионита и подключения в работу в конце выхода нескольких фильтров на ремонт или ревизию.

Нормальная  $w_{\text{н}}$  и максимальная  $w_{\text{макс}}$  скорости фильтрования при нахождении 1 фильтра на регенерации (табл. 4):

$$w_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{A}_2}}{f \cdot n}, \text{ м}/\text{ч},$$

$$w_{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{A}_2}}{f \cdot (n - 1)}, \text{ м}/\text{ч}.$$

Таблица 4

*Значение скорости фильтрования*

Скорость фильтрования	Значение, м/ч
Допустимая (максимальная)	5–30
Рекомендуемая с учетом полноты использования $E_{\text{р}}$ (нормальная)	до 20

Количество анионов сильных и слабых кислот, удаляемых на анионитных фильтрах в сутки, составляет:

$$\Sigma \text{Ан}_{\text{сут}}^{\text{II}} = 24 \cdot Q_{\text{A2}} \cdot \Sigma \text{Ан}^{\text{II}}, \text{ мг – экв/сут.}$$

Число регенераций анионитных фильтров в сутки:

$$m = \frac{\Sigma \text{Ан}_{\text{сут}}^{\text{II}}}{f \cdot h_{\text{сл}} \cdot E_{\text{p}}^{\text{A2}} \cdot n}.$$

Расход 100 %-го NaOH на одну регенерацию ( $q_{\text{NaOH}} = 30\text{--}60 \text{ кг/м}^3$ ):

$$Q_{\text{NaOH}} = q_{\text{NaOH}} \cdot f \cdot h_{\text{сл}}, \text{ кг.}$$

Расход технического 42 %-го едкого натра,  $\text{м}^3$ , в сутки определяется по формуле:

$$Q_{\text{NaOH}}^{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{NaOH}} \cdot m \cdot n \cdot 100}{1000 \cdot 42 \cdot \rho_{42}}, \text{ м}^3,$$

где «42» – содержание чистого NaOH в техническом продукте, %;  $\rho_{42}$  – плотность технического 42%-го раствора едкого натра, используемого в энергетике,  $\rho_{42} = 1,45 \text{ т/м}^3$ .

Скорость подачи взрыхляющей воды должна быть такой, чтобы фильтрующий слой приводился во взвешенное состояние и осуществлялся вынос из фильтра измельченных частиц ионита. Расход взрыхляющей воды определяется интенсивностью и продолжительностью взрыхления анионита, которые принимаются равными:

–  $i_{\text{взр}} = 2,5 \div 3$  – интенсивность взрыхления анионита, л/(с ·  $\text{м}^2$ );

–  $\tau_{\text{взр}} = 20$  – продолжительность взрыхления анионита, мин.

Расход частично обессоленной воды на регенерацию анионитного фильтра складывается из следующих составляющих:

а) расхода воды на взрыхление анионита,  $\text{м}^3$ :

$$V_{\text{взр}} = \frac{i_{\text{взр}} \cdot f \cdot \tau_{\text{взр}} \cdot 60}{1000}, \text{ м}^3,$$

б) расхода воды на приготовление регенерационного 4%-ного раствора едкого натра NaOH,  $\text{м}^3$ :

$$V_{\text{р.р}} = \frac{100 \cdot Q_{\text{NaOH}}}{1000 \cdot 4 \cdot \rho}, \text{ м}^3,$$

где  $\rho$  – плотность 4%-го регенерационного раствора равна  $1,043 \text{ т/м}^3$ ;

в) расхода воды на отмывку анионита от продуктов регенерации. Для определения объема воды, затрачиваемого на эту операцию, используют показатель  $q_{\text{отм}}$  – удельный расход воды на отмывку анионита,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Удельный расход воды и скорость отмывки примем равными:

$q_{\text{отм}}, \text{ м}^3/\text{м}^3$  (принимается по табл. 1.5 в приложении 1);

$$w_{\text{отм}} = 8 - 10 \text{ м/с.}$$

Тогда расход воды на отмывку анионита составит:

$$V_{\text{отм}} = q_{\text{отм}} \cdot f \cdot h_{\text{сл}}, \text{ м}^3.$$

Расход воды на одну регенерацию анионитного фильтра (на собственные нужды) определится:

$$V_{\text{с.н}} = V_{\text{взр}} + V_{\text{р.р}} + V_{\text{отм}}, \text{ м}^3.$$

Среднечасовой расход воды на собственные нужды анионитных фильтров определяется выражением:

$$q_{\text{с.н.}}^{\text{А2}} = \frac{V_{\text{с.н}} \cdot m \cdot n}{24}, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Время регенерации анионитного фильтра складывается из следующих составляющих:

$$\tau_{\text{рег}} = \tau_{\text{взр}} + \tau_{\text{р.р}} + \tau_{\text{отм}},$$

где  $\tau_{\text{взр}}$  – время взрыхляющей промывки анионитного фильтра составляет 20 мин;

$\tau_{\text{р.р}}$  – время пропуска регенерационного раствора через анионитовый фильтр, мин, которое можно определить из выражения:

$$\tau_{\text{р.р}} = \frac{V_{\text{р.р}} \cdot 60}{w_{\text{р.р}} \cdot f}, \text{ мин,}$$

где  $w_{\text{р.р}}$  – скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч, принимается 4 м/ч.

Время отмывки анионита от продуктов регенерации равно:

$$\tau_{\text{отм}} = \frac{V_{\text{отм}} \cdot 60}{w_{\text{отм}} \cdot f}, \text{ мин,}$$

Тогда время регенерации составляет:

$$\tau_{\text{рег}} = \tau_{\text{взр}} + \tau_{\text{р.р}} + \tau_{\text{отм}}, \text{ ч.}$$

Межрегенерационный период работы каждого фильтра, ч, определится из уравнения:

$$T = \frac{24}{m} - \tau_{\text{рег}}, \text{ ч.}$$

Количество одновременно регенерируемых анионитных фильтров составит ( $n_{\text{о.р}}$  округляется до целого значения):

$$n_{\text{о.р}} = \frac{m \cdot n \cdot \tau_{\text{рег}}}{24}.$$

### 2.3. Расчет водород-катионитных фильтров второй ступени Н<sub>2</sub>

В фильтре в качестве материала принимается сильнокислотный катионит по таблицам 1.1–1.3 (приложение 1).

Водород-катионитные фильтры второй ступени работают в режиме «до проскока» натрия и удаляют из воды катионы:

$$\Sigma \text{Кат}^{II} = C_{Ca^{2+}}^{II} + C_{Mg^{2+}}^{II} + C_{Na^{+}}^{II} + C_{Fe^{2+}}^{II} + C_{Al^{3+}}^{II}, \text{ мг – экв/дм}^3.$$

Производительность водород-катионитных фильтров второй ступени:

$$Q_{H_2} = Q_{\text{ВПУ}} + q_{\text{с.н.}}^{\text{ФСД}} + q_{\text{с.н.}}^{A_2}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Требуемая площадь фильтрования:

$$F = \frac{Q_{H_2}}{w}, \text{ м}^2,$$

где  $w$  – скорость фильтрования Н-катионитных фильтров второй ступени в схеме обессоливания, м/ч, принимается равной 50 м/ч.

Исходя из опыта эксплуатации, скорости фильтрования принимаются следующими: Н-катионитный фильтр первой ступени – 30 м/ч; Н-катионитный фильтр второй ступени – 50 м/ч.

Определим необходимое количество фильтров  $n$ , находящихся в работе в данной ступени ионирования:

$$n = \frac{F}{f}.$$

Принимаем к установке во второй ступени ионирования  $n_{\text{общ}}$  фильтров (с учетом резервных), у которых:

- диаметр –  $D$ , мм;
- площадь фильтрования –  $f$ , м<sup>2</sup>;
- высота слоя загрузки –  $H_{\text{сл}}$ , м (см. таблицу 3).

Тогда нормальная скорость фильтрования:

$$w_H = \frac{Q_{H_2}}{f \cdot n}, \text{ м/ч}.$$

Рабочая обменная емкость выбранного ионита определяется по таблицам 1.1-1.3 (приложение 1):

$$E_p^{H_2}, \frac{\text{г – экв}}{\text{м}^3}.$$

Количество катионов, удаляемых на водород-катионитных фильтрах второй ступени:

$$\Sigma \text{Кат}_{\text{сут}}^{II} = 24 \cdot \Sigma \text{Кат}^{II} \cdot Q_{H_2}, \text{ г – экв/сут}.$$

Число регенераций фильтров в сутки составит:

$$m = \frac{\Sigma \text{Кат}_{\text{сут}}^{II}}{f \cdot h_{\text{сл}} \cdot E_p^{H2} \cdot n}$$

Число регенераций должно быть не менее одного и не более трех раз в сутки.

Расход 100%-й серной кислоты на одну регенерацию фильтров ( $q_k = 50\text{--}100 \text{ кг/м}^3$ ):

$$Q_k = q_k \cdot f \cdot h_{\text{сл}}, \text{ кг.}$$

При этом расход технической 92%-й серной кислоты:

$$Q_{\text{к.т}} = \frac{Q_k \cdot n \cdot m \cdot 100}{92 \cdot 1000}, \text{ т/сут,}$$

Расход технической серной кислоты в месяц составит:

$$Q_{\text{к.мес}} = Q_{\text{к.т}} \cdot 30, \text{ т/мес.}$$

Интенсивность взрыхляющей промывки составляет:

$$i = 2,5 \div 3 \frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$$

Продолжительность взрыхляющей промывки принимается:

$$\tau_{\text{взр}} = 20 \text{ мин.}$$

Расход воды на взрыхляющую промывку фильтра:

$$V_{\text{взр}} = \frac{i \cdot f \cdot 60 \cdot \tau_{\text{взр}}}{1000}, \text{ м}^3.$$

Расход воды на приготовление регенерационного раствора:

$$V_{\text{р.р}} = \frac{Q_k \cdot 100}{1000 \cdot 2 \cdot \rho_{\text{р.р}}}, \text{ м}^3;$$

где  $\rho_{\text{р.р}}$  – плотность регенерационного раствора,  $1 \text{ т/м}^3$ ;

$$\rho_{\text{р.р}} = 1 \text{ т/м}^3.$$

Расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации ( $q_{\text{отм}}$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , принимается по таблицам 1.1–1.3 (приложение 1):

$$V_{\text{отм}} = q_{\text{отм}} \cdot f \cdot h_{\text{сл}}, \text{ м}^3.$$

Таким образом, расход воды на одну регенерацию складывается из следующих составляющих и равен:

$$V_{\text{с.н}} = V_{\text{взр}} + V_{\text{р.р}} + V_{\text{отм}}, \text{ м}^3.$$

Расход воды на регенерацию всех фильтров в час:

$$q_{\text{с.н}}^{H2} = \frac{V_{\text{с.н}} \cdot n \cdot m}{24}, \text{ м}^3.$$



Время регенерации фильтра складывается из следующих составляющих:

$$\tau_{\text{рег}} = \tau_{\text{взр}} + \tau_{\text{р.р}} + \tau_{\text{отм}},$$

где  $\tau_{\text{взр}}$  – время взрыхляющей промывки катионитного фильтра составляет 20 мин;  $\tau_{\text{р.р}}$  – время пропуска регенерационного раствора через катионитного фильтр, мин, которое можно определить из выражения:

$$\tau_{\text{р.р}} = \frac{V_{\text{р.р}} \cdot 60}{w_{\text{р.р}} \cdot f}, \text{ мин},$$

где  $w_{\text{р.р}}$  – скорость пропуска регенерационного раствора, м/с, принимается 4 м/с.

Время отмывки анионита от продуктов регенерации равно:

$$\tau_{\text{отм}} = \frac{V_{\text{отм}} \cdot 60}{w_{\text{отм}} \cdot f}, \text{ мин},$$

где  $w_{\text{отм}}$  – скорость пропуска воды на отмывку, м/ч, принимается 10 м/ч.

Тогда время регенерации составляет:

$$\tau_{\text{рег}} = \tau_{\text{взр}} + \tau_{\text{р.р}} + \tau_{\text{отм}}, \text{ ч.}$$

Межрегенерационный период работы каждого фильтра, ч, определится из уравнения:

$$T = \frac{24}{m} - \tau_{\text{рег}}, \text{ ч.}$$

## 2.4. Расчет анионитных фильтров первой ступени А<sub>1</sub>

Суммарное количество всех анионов, подлежащих удалению из воды в анионитных фильтрах А<sub>1</sub>, равно:

$$\Sigma \text{Ан}^I = \Sigma \text{Ан}_{\text{с.к}}, \text{ мг – экв/дм}^3.$$

Фильтры А<sub>1</sub> загружаются зернами слабоосновного анионита, который выбирается из таблицы 1.4 (приложение 1).

Расчетная производительность:

$$Q_{\text{А1}} = Q_{\text{ВПУ}} + q_{\text{с.н.}}^{\text{ФСД}} + q_{\text{с.н.}}^{\text{А2}} + q_{\text{с.н.}}^{\text{Н2}}, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Принимаем обменную емкость анионита (табл. 1.4, приложение 1:

$$E_{\text{р}}^{\text{А1}}, \text{ г – экв/м}^3.$$

Скорость фильтрования воды через низкоосновный фильтр  $w$ , м/ч примем по таблице 4.

Требуемая площадь фильтрования:

$$F = \frac{Q_{A1}}{w}, \text{ м}^2.$$

Из существующих стандартных фильтров выберем фильтр со стандартными параметрами (табл. 3).

Необходимое количество фильтров, находящихся в работе на данной ступени ионирования, определяется из соотношения:

$$n = \frac{F}{f}.$$

Принимается к установке  $n_{\text{общ}}$  (с запасом) стандартных фильтров, из которых будут в работе  $n$ , а остальные фильтры будут служить для гидрорегрузки анионита и подключения в работу в конце выхода нескольких фильтров на ремонт или ревизию.

Нормальная  $w_{\text{н}}$  и максимальная  $w_{\text{макс}}$  скорости фильтрования (при нахождении двух фильтров на регенерации):

$$w_{\text{н}} = \frac{Q_{A1}}{f \cdot n}, \text{ м/ч},$$

$$w_{\text{макс}} = \frac{Q_{A1}}{f \cdot (n - 2)}, \text{ м/ч}.$$

Данные скорости не должны превышать допустимые скорости (табл. 4).

Количество анионов сильных кислот, удаляемых на анионитных фильтрах в сутки, составляет:

$$\Sigma \text{АН}^I_{\text{сут}} = 24 \cdot Q_{A1} \cdot \Sigma \text{АН}^I, \text{ мг} - \text{ экв/сут}.$$

Число регенераций анионитных фильтров в сутки:

$$m = \frac{\Sigma \text{АН}^I_{\text{сут}}}{f \cdot h_{\text{сл}} \cdot E_{\text{р}}^{A1} \cdot n}.$$

Расход 100%-го NaOH на одну регенерацию ( $q_{\text{NaOH}}$ ) = 30–60 кг/м<sup>3</sup>: рекомендуемая норма расхода едкого натра на регенерацию анионита в расчете на 1 г-экв поглощенных анионов позволяет оперативно корректировать абсолютный его расход (в г/л или в кг/м<sup>3</sup> анионита).

$$Q_{\text{NaOH}} = q_{\text{NaOH}} \cdot f \cdot h_{\text{сл}}, \text{ кг}.$$

Расход технического 42%-го едкого натра, м<sup>3</sup>, в сутки определяется по формуле:

$$Q_{\text{NaOH}}^{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{NaOH}} \cdot m \cdot n \cdot 100}{1000 \cdot 42 \cdot \rho_{42}}, \text{ м}^3,$$

где «42» – содержание чистого NaOH в техническом продукте, %;  
 $\rho_{42}$  – плотность технического 42%-го раствора едкого натра, используемого в энергетике, т/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{42} = 1,45 \text{ т/м}^3.$$

Интенсивность взрыхления анионита,  $i_{\text{взр}}$ , л/(с · м<sup>2</sup>),

$$i_{\text{взр}} = 3 \text{ л/(с · м}^2\text{)};$$

Продолжительность взрыхления анионита,  $\tau_{\text{взр}}$ , мин,

$$\tau_{\text{взр}} = 20 \text{ мин.}$$

Расхода воды на взрыхление анионита, м<sup>3</sup>:

$$V_{\text{взр}} = \frac{i_{\text{взр}} \cdot f \cdot \tau_{\text{взр}} \cdot 60}{1000}, \text{ м}^3.$$

Расход воды на приготовление регенерационного 4%-ного раствора едкого натра NaOH, м<sup>3</sup>:

$$V_{\text{р.р}} = \frac{100 \cdot Q_{\text{NaOH}}}{1000 \cdot 4 \cdot \rho}, \text{ м}^3,$$

где  $\rho$  – плотность 4%-го регенерационного раствора, равна 1,043 т/м<sup>3</sup>;

Удельный расход воды и скорость отмывки принимается равными:

$$q_{\text{отм}}, \text{ м}^3/\text{ м}^3 \text{ (табл. 1.4, приложение 1);}$$

$$w_{\text{отм}} = 10 \text{ м/с.}$$

Расход воды на отмывку анионита от продуктов регенерации:

$$V_{\text{отм}} = q_{\text{отм}} \cdot f \cdot h_{\text{сл}}, \text{ м}^3.$$

Расход воды на одну регенерацию анионитного фильтра (на собственные нужды) определится:

$$V_{\text{с.н}} = V_{\text{взр}} + V_{\text{р.р}} + V_{\text{отм}}, \text{ м}^3.$$

Среднечасовой расход воды на собственные нужды анионитных фильтров определяется выражением:

$$q_{\text{с.н.}}^{\text{A1}} = \frac{V_{\text{с.н}} \cdot m \cdot n}{24}, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Время регенерации анионитного фильтра складывается из следующих составляющих:

$$\tau_{\text{рег}} = \tau_{\text{взр}} + \tau_{\text{р.р}} + \tau_{\text{отм}},$$

где  $\tau_{\text{взр}}$  – время взрыхляющей промывки анионитного фильтра составляет 30 мин;  $\tau_{\text{р.р}}$  – время пропуска регенерационного раствора через анионитовый фильтр, мин, которое можно определить из выражения:

$$\tau_{p.p} = \frac{V_{p.p} \cdot 60}{w_{p.p} \cdot f}; \text{ мин,}$$

где  $w_{p.p}$  – скорость пропуска регенерационного раствора, м/с, принимается 4 м/с.

Время отмывки анионита от продуктов регенерации равно:

$$\tau_{отм} = \frac{V_{отм} \cdot 60}{w_{отм} \cdot f}, \text{ мин.}$$

Тогда время регенерации составляет:

$$\tau_{рег} = \tau_{взр} + \tau_{p.p} + \tau_{отм}, \text{ ч.}$$

Межрегенерационный период работы каждого фильтра, ч, определится из уравнения:

$$T = \frac{24}{m} - \tau_{рег}, \text{ ч.}$$

Количество одновременно регенерируемых анионитных фильтров составит:

$$n_{o.p} = \frac{m \cdot n \cdot \tau_{рег}}{24},$$

примем  $n_{o.p}$  одновременно регенерируемых фильтров.

## 2.5. Расчет противоточных водород-катионитных фильтров первой ступени Н<sub>1</sub>

В фильтре в качестве материала принимается катионит по таблицам 1.1–1.3 (приложение 1).

Водород-катионитные фильтры удаляют из воды катионы:

$$\Sigma \text{Кат}^I, \text{ мг – экв/дм}^3.$$

Производительность водород-катионитных фильтров первой ступени:

$$Q_{H1} = Q_{ВПУ} + q_{с.н.}^{\text{ФсД}} + q_{с.н.}^{\text{А2}} + q_{с.н.}^{\text{Н2}} + q_{с.н.}^{\text{А1}}, \quad \text{м}^3/\text{ч.}$$

Требуемая площадь фильтрования:

$$F = \frac{Q_{H1}}{w}, \text{ м}^2,$$

где  $w$  – скорость фильтрования Н-катионитных фильтров первой ступени в схеме обессоливания, м/ч, принимается до 25 м/ч. Направление движения обрабатываемой воды при ионировании – сверху-вниз.

Из существующих стандартных фильтров выбираем стандартный фильтр с площадью фильтрования  $f$ , м<sup>2</sup> (табл. 3).

Количество фильтров, находящихся в работе:

$$n = \frac{F}{f}.$$

Принимается к установке число фильтров  $n_{\text{общ}}$ ,  $n$  из них будут находиться в работе, а остальные – резервные.

Тогда нормальная скорость фильтрования:

$$w_H = \frac{Q_{H1}}{f \cdot n}, \text{ м/ч.}$$

Рабочая обменная емкость составляет (табл. 1.1–1.3, приложение 1):

$$E_p^{H1}, \frac{\text{г – экв}}{\text{м}^3}.$$

Количество катионов, удаляемых на водород-катионитных фильтрах второй ступени:

$$\Sigma \text{Кат}^I_{\text{сут}} = 24 \cdot \Sigma \text{Кат}^I \cdot Q_{H1}, \text{ г – экв/сут.}$$

Число регенераций фильтров в сутки составит:

$$m = \frac{\Sigma \text{Кат}^I_{\text{сут}}}{f \cdot h_{\text{сл}} \cdot E_p^{H1} \cdot n}.$$

Расход 100%-й серной кислоты на одну регенерацию фильтров ( $q_k = 50\text{--}100$  кг/м<sup>3</sup>):

$$Q_k = q_k \cdot f \cdot h_{\text{сл}}, \text{ кг.}$$

При этом расход технической 92%-й серной кислоты:

$$Q_{\text{к.т}} = \frac{Q_k \cdot n \cdot m \cdot 100}{92 \cdot 1000}, \text{ т/сут.}$$

Расход технической серной кислоты в месяц составит:

$$Q_{\text{к.мес}} = Q_{\text{к.т}} \cdot 30, \text{ т/мес.}$$

Интенсивность взрыхляющей промывки составляет:

$$i = 2,5 - 3 \frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}.$$

Продолжительность взрыхляющей промывки принимается:

$$\tau_{\text{взр}} = 20 \text{ мин.}$$

Расход воды на взрыхляющую промывку фильтра:

$$V_{\text{взр}} = \frac{i \cdot f \cdot 60 \cdot \tau_{\text{взр}}}{1000}, \text{ м}^3.$$

Расход воды на приготовление регенерационного раствора:

$$V_{p.p} = \frac{Q_k \cdot 100}{1000 \cdot 2 \cdot \rho_{p.p}}, \text{ м}^3;$$

где  $\rho_{p.p}$  – плотность регенерационного раствора, 1 т/м<sup>3</sup>;

Расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации ( $q_{отм}$ , м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, принимается по таблице таблицам 1.1–1.2 (приложение 1):

$$V_{отм} = q_{отм} \cdot f \cdot h_{сл}, \text{ м}^3.$$

Таким образом, расход воды на одну регенерацию складывается из следующих составляющих и равен:

$$V_{с.н} = V_{взр} + V_{p.p} + V_{отм}, \text{ м}^3.$$

Расход воды на регенерацию всех фильтров в час:

$$q_{с.н.}^{H1} = \frac{V_{с.н} \cdot n \cdot m}{24}, \text{ м}^3.$$

Время регенерации фильтра складывается из следующих составляющих:

$$\tau_{рег} = \tau_{взр} + \tau_{p.p} + \tau_{отм},$$

где  $\tau_{взр}$  – время взрыхляющей промывки катионитного фильтра составляет 20 мин;  $\tau_{p.p}$  – время пропуска регенерационного раствора через катионитный фильтр, мин, которое можно определить из выражения:

$$\tau_{p.p} = \frac{V_{p.p} \cdot 60}{w_{p.p} \cdot f}, \text{ мин},$$

где  $w_{p.p}$  – скорость пропуска регенерационного раствора, м/с, принимается более 10 м/с.

Время отмывки анионита от продуктов регенерации равно:

$$\tau_{отм} = \frac{V_{отм} \cdot 60}{w_{отм} \cdot f}, \text{ мин},$$

где  $w_{отм}$  – скорость пропуска воды на отмывку, м/ч, принимается 10 м/ч.

Тогда время регенерации составляет:

$$\tau_{рег} = \tau_{взр} + \tau_{p.p} + \tau_{отм}, \text{ ч}.$$

Межрегенерационный период работы каждого фильтра, ч, определится из уравнения:

$$T = \frac{24}{m} - \tau_{рег}, \text{ ч}.$$

## 2.6. Расчет механических фильтров

Вид предварительной обработки воды, то есть предшествующей обработке на ионитных фильтрах, выбирается исходя из состава воды.

Взрыхляющую промывку фильтрующей загрузки рекомендуется осуществлять осветленной водой; допускается также производить ее с применением сжатого воздуха.

Производительность осветлительного фильтра:

$$Q_{\text{МФ}} = Q_{\text{ВПУ}} + q_{\text{С.Н.}}^{\text{ФСД}} + q_{\text{С.Н.}}^{\text{A2}} + q_{\text{С.Н.}}^{\text{H2}} + q_{\text{С.Н.}}^{\text{A1}} + q_{\text{С.Н.}}^{\text{H1}}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Общая площадь фильтрования  $F$ ,  $\text{м}^2$ , приближенно определяется:

$$F = \frac{Q_{\text{МФ}} \cdot \alpha}{w}, \text{ м}^2.$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий расход осветленной воды на собственные нужды осветлительных фильтров, ориентировочно принимается равным 1,1 (10 %), затем при наладке уточняется;  $w$  – скорость фильтрования при нормальном режиме работы фильтров,  $\text{м}/\text{ч}$  (принимается по табл. 5).

Таблица 5

*Технологические данные для расчета осветлительных фильтров*

Показатель	Тип фильтра	
	С загрузкой антрацитом	С двухслойной загрузкой кварцевым песком
Скорость фильтрования, $\text{м}/\text{ч}$ : – нормальный режим, – форсированный режим	5 (10) 7,5 (12)	10 12
Интенсивность взрыхляющей промывки водой, $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$	10–12	13–15
Продолжительность взрыхляющей промывки водой, мин	$\approx 20$	$\approx 20$

Предварительно примем число фильтров:  $n$ .

Площадь фильтрования каждого фильтра  $f$ ,  $\text{м}^2$ , определяется путем подбора по формуле:

$$f' = \frac{F}{n - 1}, \text{ м}^2.$$

Принимаем число фильтров  $n = c$  параметрами:  $f$ ,  $\text{м}^2$ ;  $d$ ,  $\text{м}$  согласно таблице 6.

Таблица 6

*Площадь фильтрования стандартных фильтров*

Диаметр фильтра $D_y$ , мм	700	1000	1500	2000	2600	3000	3400
Площадь фильтрования $f_{\text{ф}}$ , $\text{м}^2$	0,39	0,76	1,72	3,1	5,2	7,1	9,1

Скорость фильтрования при нормальном режиме работы фильтров определяется по формуле:

$$w_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{МФ}} + q_{\text{с.н.}}^{\text{МФ}}}{f \cdot (n - 1)},$$

где  $q_{\text{с.н.}}^{\text{МФ}}$  – среднечасовой расход воды на собственные нужды осветлительных фильтров, м<sup>3</sup>/ч.

Среднечасовой расход воды на собственные нужды составит:

$$q_{\text{с.н.}}^{\text{МФ}} = \frac{V_{\text{взр}} \cdot m \cdot n}{24},$$

где  $V_{\text{взр}}$  – расход воды на одну промывку фильтра, м<sup>3</sup>;  $m$  – число промывок каждого фильтра в сутки, принимается равным 1–2 раза; примем  $m = 1$ .

Интенсивность взрыхляющей промывки составляет (табл. 5):

$$i, \frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}.$$

Продолжительность взрыхляющей промывки принимается:

$$\tau_{\text{взр}} = 20 \text{ мин.}$$

Расход воды на одну промывку фильтра составляет:

$$V_{\text{взр}} = \frac{60 \cdot i \cdot f \cdot \tau_{\text{взр}}}{1000}, \text{ м}^3;$$

$$q_{\text{с.н.}}^{\text{МФ}} = \frac{V_{\text{взр}} \cdot m \cdot n}{24}, \text{ м}^2;$$

$$w_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{МФ}} + q_{\text{с.н.}}^{\text{МФ}}}{f \cdot (n - 1)}, \text{ м/ч.}$$

Скорость фильтрования при форсированном режиме:

$$w_{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{МФ}} + q_{\text{с.н.}}^{\text{МФ}}}{f \cdot (n - 2)}, \text{ м/ч.}$$

Если максимальная скорость не превышает скорость фильтрования в нормальном режиме, то расчет является удовлетворительным.

Производительность осветлительного фильтра с учетом собственных нужд:

$$Q_{\text{МФ}}^{\text{общ}} = Q_{\text{МФ}} + q_{\text{с.н.}}^{\text{МФ}}, \text{ м}^3/\text{ч.}$$



## 2.7. Расчет осветлителя

В предварительных расчетах производительность установки должна быть увеличена на 10 % от общей производительности с учетом собственных нужд осветлителя. Таким образом, осветлители должны обеспечивать следующую среднечасовую нагрузку:

$$Q_{\text{осв}} = Q_{\text{МФ}}^{\text{общ}} \cdot 1,1, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Осветлители выбираются из конструкций, разработанных специализированными организациями, по производительности. Выбираем ближайший по производительности осветлитель для коагуляции и известкования воды (табл. 7, 8). При использовании осветлителей конструкции ВТИ для коагуляции, максимальная производительность составляет 60-70% от номинальной.

Таблица 7

*Характеристики осветлителей для коагуляции*

Тип осветлителя / Показатель	МоТЭП	цнии-3	цнии-3	цнии-3	ХоТЭП-ВТИ
Производительность, $Q_{\text{осв}}$ , м <sup>3</sup> /ч	100	150	230	450	350
Диаметр, $d$ , м	7,0	7,3	9,0	12,5	12,0
Высота общая, $h$ , м	9,9	6,965	7,65	8,65	11,6

Таблица 8

*Характеристики осветлителей ВТИ для известкования*

Тип осветлителя / Показатель	63-И	100-И	160-И	250-И	400-И	630-И	1000-И
Производительность, $Q_{\text{осв}}$ , м <sup>3</sup> /ч	63	100	160	250	400	630	1000
Диаметр, $d$ , м	4,25	5,5	7	9	11	14	18
Высота общая, $h$ , м	8,0	8,45	9,65	10,7	11,9	14,6	16,5

Количество шлама, образующегося при известковании, коагуляции и магниальном обескремнивании, приближенно определится по формуле:

$$Q_{\text{шл}} = B + 50 \cdot (Ж_{Ca}^{\text{уд}} + D_{\text{и}}) + 0,56 \cdot \alpha \cdot D_{\text{и}} + 53 \cdot D_{\text{к}} + 0,2 \cdot Ж_{Mg}^{\text{уд}} + \left[ (SiO_3)_{\text{исх}} \cdot \frac{D_{MgO}}{\alpha_{MgO}} \right] \cdot 100 + 0,75 \cdot O_{\text{рг}}, \text{ г/м}^3.$$

где  $B$  – количество взвешенных веществ в исходной воде, г/м<sup>3</sup>;  $J_{Ca}^{уд}$ ,  $J_{Mg}^{уд}$  – удаляемые из воды при известковании кальциевая и магниевая жесткость соответственно, мг-экв/дм<sup>3</sup>;  $D_{и}$  – доза извести, мг-экв/дм<sup>3</sup>,  $D_{и} = 0$ ;  $D_{к}$  – доза коагулянта – сернокислого алюминия, мг-экв/дм<sup>3</sup> (табл. 9);  $\alpha$  – количество примесей в дозируемом известковом молоке,  $\alpha = 0$ ;  $D_{MgO}$  – доза MgO (мг) на 1 мг исходного содержания SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, обычно принимается 15 г на один г SiO<sub>3</sub>;  $\alpha_{MgO}$  – содержание MgO в техническом продукте (75 %);  $(SiO_3)_{исх}$  – исходное содержание SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, мг/дм<sup>3</sup>;  $O_{орг}$  – исходное содержание в обрабатываемой воде органических загрязнений, мг/л.

Таблица 9

*Применяемые в проектировании дозы коагулянта*

Исходная вода		Доза коагулянта, Д <sub>к</sub> , мг-экв/дм <sup>3</sup>
Щелочность, Щ <sub>о</sub> , мг-экв/дм <sup>3</sup>	Окисляемость, О <sub>к</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	
≥ 2	≤ 5	0,5
≥ 1,5	≤ 10	0,75
< 1,5	> 10	1,0

Образующиеся осадки выводятся из осветлителя путем непрерывной продувки из шламосборника. Величина продувки осветлителя может быть определена по формуле:

$$P = \left[ \frac{Q_{шл} - B_o}{1000 \cdot \delta_{ср}} \right] \cdot 100\%.$$

где  $B_o$  – остаточное содержание взвешенных веществ в обработанной воде после осветлителей, мг/дм<sup>3</sup> (остаточное содержание взвеси должно быть от 5 до 10 мг/дм<sup>3</sup>);  $\delta_{ср}$  – средняя концентрация взвешенных веществ в уплотненном осадке, г/дм<sup>3</sup>, принимается в размере 75–150 г/дм<sup>3</sup>.

Тогда расход продувочной воды из осветлителя составит:

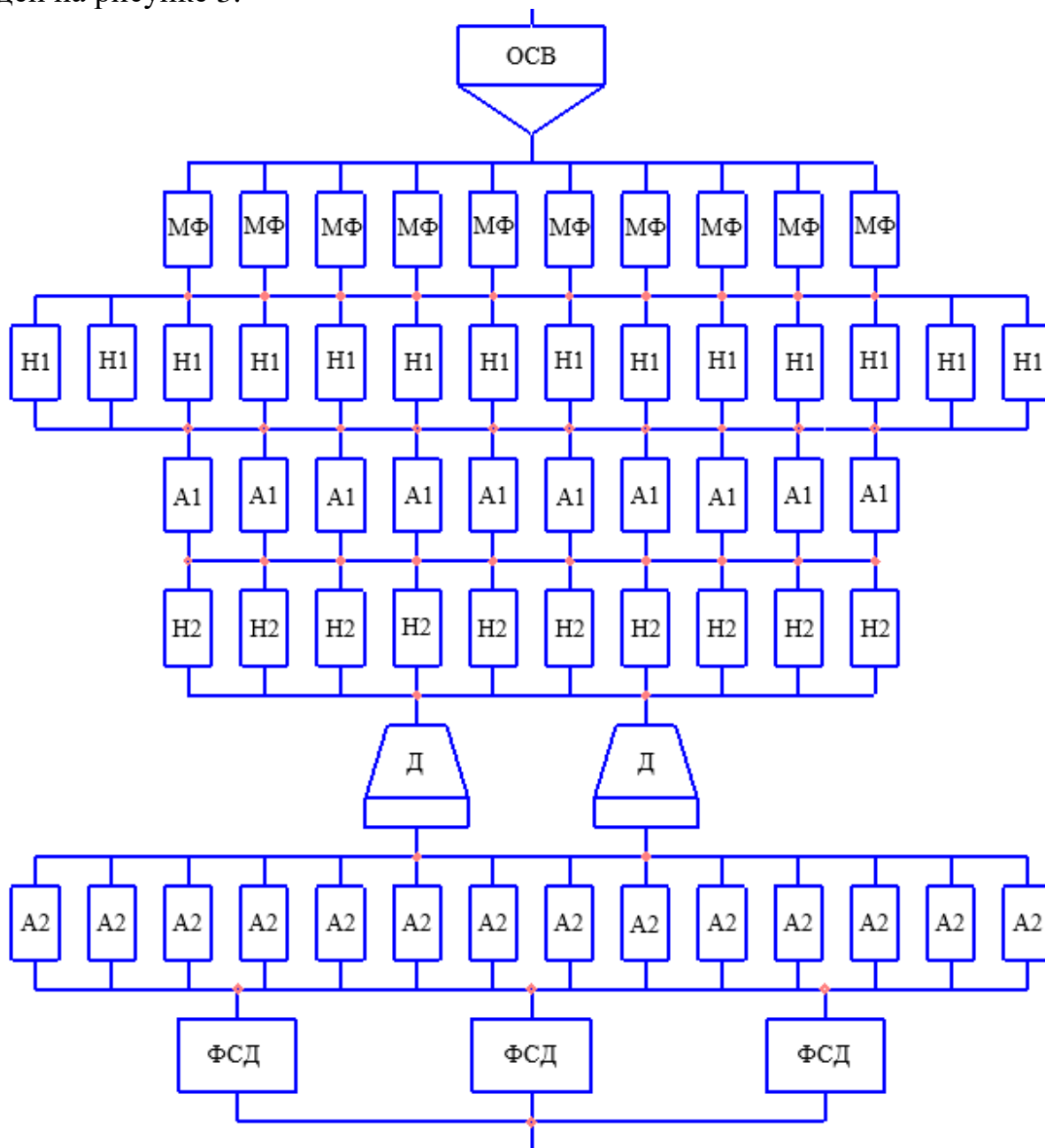
$$V_{пр} = Q_{осв} \cdot \frac{P}{100}.$$

Таким образом, с учетом непрерывной продувки на осветлитель должно отдаваться исходной воды в количестве:

$$Q_{осв}^{общ} = Q_{осв} + V_{пр}, \text{ м}^3.$$

### 3. Технологическая схема

Технологическая схема является графическим отражением состава схемы рассчитанной установки. Пример технологической схемы приведен на рисунке 3.



*Рис. 3. Пример технологической схемы:  
ОСВ – осветлитель; МФ – механический фильтр; Н1 – Н-катионитный фильтр первой ступени; А1 – анионитный фильтр первой ступени; Н2 – Н-катионитный фильтр второй ступени; Д – декарбонизатор; А2 – анионитный фильтр второй ступени; ФСД – фильтр смешанного действия*

## Приложение 1

### Технологические характеристики катионов и анионов

Таблица 1.1

*Сильнокислотные катиониты традиционного (гетеродисперсного) гранулометрического состава (размер гранул 0,315 (0,4)–1,25 мм)*

Марка катионита	ДОЕ (в Н-форме), мг-экв/дм <sup>3</sup>	Удельный расход воды на отмывку, дм <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	Насыпная масса, г/дм <sup>3</sup>
Катиониты гелевой структуры			
КУ-2-8, Россия	440–470	2,0–4,0	750
КУ-2-8, Украина	430–480	2,0–4,0	750
Амберлайт IR, 120	420–480	2,0–4,0	800
Дауэкс HC R-S	365–470	2,0–3,0	780
Пьюролайт C100	410–430	3,0–4,0	800
Тульсион Т-42	420–460	3,0–4,0	800–840
Гранион CS-7 (К-1-7)	435–450	3,0–4,0	750–800
Катиониты макропористой структуры			
Дауэкс MSC-1	345	3,0	760

Таблица 1.2

*Сильнокислотные катиониты однородного (монодисперсного) гранулометрического состава*

Марка катионита	ДОЕ (в Н-форме), мг-экв/дм <sup>3</sup>	Удельный расход воды на отмывку, дм <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	Насыпная масса, г/дм <sup>3</sup>
Дауэкс Маратон С	450	2,0	800
Дауэкс Моносфера С650	440–460	2,0–3,0	800
Леватит Моноплюс S100	490	3,0	780
Леватит Моноплюс S200 KR	500	3,0	790
Амберджет 1200	470	3,0	800
Амберджет 1500	490	2,0	820

Таблица 1.3

*Карбоксильные катиониты*

Марка катионита	ДОЕ*, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Удельный расход воды на отмывку*, дм <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	Насыпная масса, г/дм <sup>3</sup>
Леватит CNP 80	2100/1420	2,0/7,0	750
Дауэкс MAC-3	1900/1640–1990	2,0/6,0–9,0	750
Амберлайт IRC-86	–/1820–1950	–/6,0–11,0	790
Пьюролайт С 104	1870–1880/1800	2,0/8,0	735–770
Релит CNS	–/1840	–/9,0	800
Гранион CWP-1 (D113)	2700/2300–2310	2,0/8,0–10,0	740–800
ZGC 216	–/2080	–/8,0	680–780
ZGC 258	2600/1950	2,0/8,0	720–800

\*Значения ДОЕ и удельного расхода воды на отмывку определялись и приведены: в числителе – по ГОСТу; в знаменателе – в условиях лаборатории, приближенных к реальным.

Таблица 1.4

*Слабоосновные аниониты*

Марка анионита	ДОЕ, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Удельный расход воды на отмывку, дм <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	Насыпная масса, г/дм <sup>3</sup>
<i>Поликонденсационный, гелевая структура (блочный тип гранул)</i>			
АН-31	1280–1550	6,0–7,0	700–750
<i>Акриловый сополимер, гелевая структура</i>			
Амберлайт IRA 67	1240–1360	10,0–14,5	700
Амберлайт IRA 70	1000	10,0	700
Пьюролайт А 830	1450	10,0	690–725
Пьюролайт А 830 W	1690	12,7	710
Пьюролайт А 845	1260–1290	6,0–13,0	645–675
Релит MG-1	2460–2900	9,0–10,0	700–750
ZGA412	1100	16,0	780
<i>Акриловый сополимер, макропористая структура</i>			
Тульсион А-10х-мр	1720–800	18,0–26,0	660–740
Россион 25	2220–2550	5,0–7,0	690–720

Продолжение таблицы 1.4

Марка анионита	ДОЕ, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Удельный расход воды на отмывку, дм <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	Насыпная масса, г/дм <sup>3</sup>
Релит МG-1	2470	9,0	720
Гранион АWA-1(D311)	1100	16,0	720
Полистирольный сополимер, макропористая структура			
Амберлайт IRA96(93)	920–1000	5,0–10,0	670
Леватит МР 62	1065	8,0	670
Леватит МР 64	930–1000	5,0–8,0	680
Леватит Моноплюс МР 64	950–1040	6,0–7,0	660
Дауэкс Маратон WBA	1090–1170	6,0–8,0	640
Пьюролайт А 100	1040	8,0	645–675
Релит А329	1010	9,0	615
Тульсион А-2х-мр	1050–1100	3,0–6,0	640–670
Гранион АWP-1(D 01)	970–1130	7,0–9,0	650–720
ZGA 451	860	9,0	650–720

Таблица 1.5

*Сильноосновные полистирольные аниониты (тип 1) традиционного  
(гетеродисперсного) гранулометрического состава  
(размер зерен 0,315 (0,4)–1,25 мм)*

Марка анионита	ДОЕ, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Удельный расход воды на отмывку, дм <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	Насыпная масса, г/дм <sup>3</sup>
Гелевая структура			
АВ-17-8, Россия	640–700	3,0-5,0	700–740
Амберлайт IRA 402	690	-	670
Амберлайт IR 405	770	10,0	670
Дауэкс SBR-P	700–730	9,0-10,0	690
Леватит М 500	730	6,0	-
Пьюролайт SGA 550	680	5,0	-
ZGA304	680	10,0	-
Пористая структура			
Дауэкс MSA-1	515	6,0	670

## Список литературы

1. Водоподготовка в энергетике : учебное пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. – Москва: Изд-во МЭИ, 2003. – 309 с.
2. Водоподготовка для АЭС. Проектирование и расчет водоподготовительной установки : учебное пособие / В.А. Карелин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 98 с.
3. Технология подготовки воды для контуров котлов, парогенераторов, реакторов и систем их обеспечения: учебное пособие / Л.Л. Любимова, А.С. Заворин, А.А. Макеев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 293 с.
4. Основные требования к применению ионитов на водоподготовительных установках тепловых электростанций. Технологические рекомендации по диагностике их качества и выбору. СТО ВТИ 37.002-2005. Ввод. в действие с 01.01.2006. – Челябинск: ООО Центр безопасности труда, 2005. – 28 с.

Учебное издание

## **РАСЧЕТ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Методические указания для выполнения индивидуального домашнего задания по дисциплинам «Технология подготовки воды», «Водоподготовка», «Обработка воды на АЭС» для студентов IV курса, обучающихся по направлениям 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

*Составители*

ВОРОНЦОВА Елена Сергеевна  
ТАЙЛАШЕВА Татьяна Сергеевна  
БУВАКОВ Константин Владимирович