

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине

«Химия воды»

Направление подготовки 08.03.01 Строительство

Направленность (профиль) Теплогазоснабжение и вентиляция

ОГЛАВЛЕНИЕ

Практическое занятие №1	3
Практическое занятие № 2	3
Практическое занятие № 3	4
Практическое занятие № 4	6
Практическое занятие № 5	6
Практическое занятие № 6	7
Практическое занятие № 7	7
Практическое занятие № 8,9	8

В методически указаниях к выполнению практических занятий по дисциплине «Химия воды» для студентов специальности 08.03.01 Строительство сформулированы цели и задачи исследований, даны краткие основы по теоретическому обоснованию работ, изложена методика проведения экспериментальных исследований и обработки полученных данных.

Методические указания выполнены согласно программе по дисциплине «Химия воды» для студентов специальности 08.03.01 Строительство.

Методические указания позволяют:

- углубить знания студентов по теории процессов водоподготовки;
- уяснить физическую сущность процессов обработки воды;
- изучить методики экспериментального определения технологических показателей процессов обработки воды;
- получить необходимые навыки в проведении экспериментального исследования и обработки опытных данных;
- сформировать компетенцию ПК-1: способность выполнять работы по проектированию наружных сетей систем теплогазоснабжения, котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей.

По дисциплине «Химия воды» студент должен изучить основные разделы, определяемые следующими требованиями: студент должен знать основные показатели качества воды, методы обработки (водоподготовки) и правила ведения воднохимического режима; уметь выполнять расчеты по реагентной и ионообменной обработке воды и осуществлять расчет и подбор оборудования; владеть навыками эксплуатации водоподготовительного оборудования и контроля качества обработанной воды.

Практическое занятие №1

Диссоциация воды. Солевой состав воды, примеси.

Цель: формирование компетенции ПК-1: способность выполнять работы по проектированию наружных сетей систем теплогазоснабжения, котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей.

Теоретическая часть изложена в курсе лекций (Водоподготовка. Учебно-методическое пособие. ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2018. -109 с.)

Вопросы и задания.

1. Диссоциация воды.
2. Солевой состав воды, примеси.
3. Физико-химический состав воды.

Задача 1.

Определить рН нуль нормального (0,1н) раствора HCl при 25 °С.

Задача 2.

В 1 л. раствора находится 20 г. NaCl . Определить концентрацию ионов натрия и ионов хлора в процентах, г/кг, г-экв/л.

Практическое занятие № 2.

Влияние примесей на работу котла. Механизм образования накипи

Цель: формирование компетенции ПК-1: способность выполнять работы по проектированию наружных сетей систем теплогазоснабжения, котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей.

Теоретическая часть изложена в курсе лекций (Водоподготовка. Учебно-методическое пособие. ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2018. -109 с.)

Вопросы и задания.

4. Механизм образования накипи.
5. Активная концентрация, произведение растворимости.
6. Влияние примесей на работу котла

Задача 3.

Процесс парообразования в котле с точки зрения концентрации солей. Соли содержания исходной воды 1г/л. NaCl. Определить концентрацию NaCl в котле, если коэффициент упаривания 5. Концентрацию выразить г/л , гр экв/л (Na , Cl), г ион/ л. раствора.

Задача 6.

Оборотная система охлаждения конденсатов турбин подпитывается водой следующим составом, мг- экв/л: Ca^{2+} -10, Mg^{2+} - 2.5, Na^{+} - 3 , SO_4^{2-} - 8, Cl^{-} - 2,5, HCO_3^{-} -5.

Коэффициент выпара - 1,7. Температура - 25 °С.

Возможный осадок $CaSO_4 \dots H_2O$

ПР $CaSO_4 = 6,1 \cdot 10^{-5}$ г ион/л

Определить, будет ли выпадать в системе гипс ($CaSO_4$) ?

Задача 4.

В 1л. воды последовательно растворены Na_2CO_3 5гр и $CaCl_2$ 4гр.

Определить количество выпавшего в осадок карбоната кальция и концентрацию ионов натрия и хлора в растворе в г/л , мг- экв/ л

Практическое занятие № 3.

Физико-химические основы и технология коагуляции; организация процесса в осветлителях

Цель: формирование компетенции ПК-1: способность выполнять работы по проектированию наружных сетей систем теплогазоснабжения, котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей.

В технологии очистки воды процесс коагуляции применяется в основном для поверхностных водоисточников. Возникающая в воде при таком процессе кислотность нейтрализуется как щелочностью исходной воды, так и известкованием. Последним также достигается снижение бикарбонатной щелочности (жесткости) воды до $Щ_{ост}=0,3...0,7$ мг экв/л .

Для коагуляции воды необходимо выбрать вид коагуляции из применяемых на практике: закисное сернокислое или хлористое железо ($FeSO_4$ или $FeCl$), либо сернокислый алюминий ($Al(SO_4)_3$).

При дозировании коагулянта в воду он гидролизуеться с образованием положительно заряженных коллоидных частиц гидрата окиси металла (Fe^{2+} или Al^{3+}). Содержащиеся в воде коллоидные частицы загрязнений с отрицательными зарядами и вновь образовавшиеся коллоидные частицы коагулянта с положительными зарядами, взаимно притягиваясь, разряжаются, укрупняются и в виде хлопьев отделяются от воды и оседают.

На практике дозу коагулянта (K) железного купороса или сернокислого алюминия ориентировочно принимают равными, в мг экв/л:

	$FeSO_4$	$Al_2(SO_4)_3$
в период весеннего паводка	0,7	1,0
летом	0,35	0,7
зимой	0,18	0,53

В результате коагулирования и известкования изменится солевой состав воды.

При коагулировании сернокислыми солями содержание сульфат-иона [SO_4^{2-}] возрастает на величину:

$$\Delta[SO_4^{2-}] = K_{AE(Fe)}, \text{ мг экв/л,} \quad (3.6)$$

где $K_{AE(Fe)}$ – доза 100 % коагулянта в мг экв/л.

Содержание карбонат-иона ($[CO_3^{2-}]$) уменьшится на величину требуемой карбонатной щелочности исходной воды на нейтрализацию водород-ионов, возникающих при коагуляции:

$$\Delta[CO_3^{2-}] = K_{AE(Fe)}, \text{ мг экв/л.} \quad (3.7)$$

Общая жесткость не изменится, а некарбонатная жесткость увеличится на величину уменьшения карбонатной жесткости, т. е. на величину $\Delta[CO_3^{2-}]$.

Карбонатная щелочность $Щ_K$ снизится на величину $\Delta[CO_3^{2-}]$.

Содержание кремнекислоты ($[SiO_3^{2-}]_K$) снизится на 15....25% – $[SiO_3^{2-}]_K = 0,15....0,25[SiO_3^{2-}]$.

Концентрации ионов $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$, $[Na^+]$, $[Cl^-]$ и др. остаются без изменения.

В таблице солевого состава исходной воды вписать её солевой состав после коагуляции.

Известкование производится совместно с коагуляцией для нейтрализации остаточной кислотности воды при недостатке её щелочности и для снижения этой щелочности до остаточного её значения – $Щ_{ост}^K = 0,7$ мг экв /л.

По соотношениям между карбонатной щелочностью ($Щ_K$) исходной воды и дозой коагулянта (K) доза извести определяется:

при $Щ_K < K$

$$И = K - Щ_K^{u.в.} + [(SiO_3^{2-})_{u.в.} - (SiO_3^{2-})_{ост}] + CO_2; \quad (3.8)$$

при $Щ_K > K$

$$И = (Щ_K^{u.в.} - Щ_K^{ост}) + K + [(SiO_3^{2-})_{u.в.} - (SiO_3^{2-})_{ост}] + CO_2 + И_{изб}, \text{ мг экв/л,} \quad (3.9)$$

где $И_{изб}$ – избыток извести (принимают 0,5.....0,3 мг экв/л);

$[SiO_3^{2-}]$ – остаточное кремнесодержание в воде после известкования, рекомендуемое до 5 мг/л;

CO_2 – концентрация растворённой в воде свободной углекислоты, принимается по рис. 5.9 [5].

В первом случае щелочность воды после коагуляции и известкования будет только гидратная – $Щ_г (OH^-)$, обусловливаемая незначительным избытком извести, а общая жесткость воды будет сформирована только из некарбонатной. В этом случае карбонатная щелочность будет близка к нулевому значению. Во втором случае щелочность будет в основном карбонатной, обусловливающей карбонатную жесткость воды, а численное значение их соответствует: $K_K^{ост} = Щ_K^{ост} = 0,7$ мг экв/л. При этом общая жесткость становится равной:

$$\mathcal{K}_o = \mathcal{K}_{нк} + K + \mathcal{I}\mathcal{I}_к^{ост}. \quad (3.10)$$

Вопросы и задания.

- объясните сущность процесса коагуляции;
- какие вещества используются в качестве коагулянтов;
- технология коагуляции;
- напишите реакции, протекающие в процессе коагуляции.

Практическое занятие № 4.

Обработка воды осаждением – известкование и реагентное умягчение воды. Фильтрация воды

Цель: формирование компетенции ПК-1: способность выполнять работы по проектированию наружных сетей систем теплогазоснабжения, котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей.

Теоретическая часть изложена в курсе лекций (Водоподготовка. Учебно-методическое пособие. ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2018. -109 с.)

Вопросы и задания.

7. Организация процесса в осветлителях. Схема осветлителя.
8. Обработка воды осаждением - известкование и содоизвесткование.
9. Фильтрация воды.

Задача 8.

Вода имеет исходный состав $\text{Ca} = 5 \text{ мг- экв/л}$, $\text{Na} = 5 \text{ мг-экв/л}$, $\text{HCO}_3^- = 5 \text{ мг- экв/л}$, $\text{Cl} = 3 \text{ мг- экв/л}$, $\text{SO}_4 = 2 \text{ мг-экв/л}$.

Провели известкование, после чего $\text{Ca} = 2 \text{ мг- экв/л}$, $\text{OH} = 2 \text{ мг-экв/л}$.

Определить конечный состав воды после известкования, а также определить необходимое количество концентрированного раствора извести (известковое молоко), если количество исходной воды 10т., а раствор извести предельно концентрированный (соответствует произведению растворимости Ca(OH)_2 при 20°C).

Задача 10.

Расход воды состоит 100 т/ч. Вода загрязнена механическими примесями, скорость осаднения которых 3 см в мин. Подобрать диаметр осветлителя (осветлителей) чтобы эти механические примеси остались в осветлителях.

Условия работоспособности: подъемная скорость воды в осветлителе меньше, чем скорость осаднения механических примесей.

Практическое занятие № 5.

Теория ионного обмена. Иониты

Цель: формирование компетенции ПК-1: способность выполнять работы по проектированию наружных сетей систем теплогазоснабжения, котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей.

Теоретическая часть изложена в курсе лекций (Водоподготовка. Учебно-методическое пособие. ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2018. -109 с.)

Вопросы и задания.

1. Теория ионного обмена.
2. Применяемые иониты.

Задача 9.

Вода содержит 8 мг-экв/ л общей жесткости . расход воды состоит 60 т/ч. Определить объем Na-катионита , который потребуется для обработки этой воды в непрерывном режиме. Если известно, что удельная рабочая объемная емкость ионита равна 2000 г-экв/ м³.

Практическое занятие № 6.

Технология ионного обмена – умягчение, взрыхление, регенерация, отмывка

Цель: формирование компетенции ПК-1: способность выполнять работы по проектированию наружных сетей систем теплогазоснабжения, котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей.

Теоретическая часть изложена в курсе лекций (Водоподготовка. Учебно-методическое пособие. ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2018. -109 с.)

Вопросы и задания.

- 10.Технология ионного обмена.
- 11.Технология натрий-катионирования.
- 12.Технология водород-катионирование.

Задача 11.

Определить время работы фильтра. Если известна удельная рабочая объемная емкость 2000 г-экв/ м³ , площадь сечения фильтра 0,5м² , высота слоя 1м, жесткость исходной воды 4 мг-экв/ л, расход воды через фильтр 30 м³/ч.

Задача 12.

Определить требуемую площадь фильтров и их количество. Если известно, что общая жесткость исходной воды 5 мг- экв/ л, расход 60т/ч , высота слоя – численно равна площади фильтра, удельная рабочая обменная емкость - 2000 г- экв/ м³.

Практическое занятие № 7.

Расчет ионообменных фильтров.

Цель: формирование компетенции ПК-1: способность выполнять работы по проектированию наружных сетей систем теплогазоснабжения, котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей.

Теоретическая часть изложена в курсе лекций (Водоподготовка. Учебно-методическое пособие. ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2018. -109 с.)

Вопросы и задания.

1. Схема ионообменного фильтра
2. Рабочая обменная емкость
3. Фильтроцикл
4. Формулы, используемые в расчетах

Задача 13.

Существует фильтр размером : диаметр 0,5м, высота слоя 1м, коэффициент набухания 1,05. Удельная объемная емкость поглощения 2000 г – экв/ м³. Исходная вода имеет состав общая жесткость 1 мг- экв/ л, расход воды 20т/ч. Определить время работы фильтра до регенерации.

Задача 14.

Имеется исходная вода: $C_{Ca} - 0,5$ м экв/ л, $C_{Mg} - 1,0$ м экв/ л,

$C_{Na} - 2,0$ м экв/ л, $C_{HCO_3} - 2,0$ м экв/ л, $C_{Cl} - 1,5$ м экв/ л.

Предложить схему Н-На – катионирования. При этом написать химические реакции, которые будут происходить в результате ее применения. Рассчитать состав обработанной воды (на выходе из схемы).

Практическое занятие № 8,9.

Умягчение, декарбонизация. Полное и частичное обессоливание

Цель: формирование компетенции ПК-1: способность выполнять работы по проектированию наружных сетей систем теплогазоснабжения, котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей.

Теоретическая часть изложена в курсе лекций (Водоподготовка. Учебно-методическое пособие. ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2018. -109 с.)

Вопросы и задания.

1. Принципы и технология обессоливания воды.
2. Способы подготовки обессоленной воды
3. Что такое электродиализ
4. Что такое обратный осмос

Задача 16.

Исходная вода содержит : $C_{Ca} - 1,0$ мг- экв/ л, $C_{Mg} - 1,0$ мг- экв/ л,

$C_{Na} - 1,0$ мг- экв/ л, $C_{HCO_3} - 0,5$ мг- экв/ л, $C_{Cl} - 2,5$ мг- экв/ л.

Предложить схему обессоливания. Обосновать расчетами.

Вопросы для собеседования

1. Диссоциация воды.
2. Солевой состав воды, примеси.
3. Физико-химический состав воды.
4. Механизм образования накипи. Активная концентрация, произведение растворимости.
5. Влияние примесей на работу котла
6. Реагентная обработка воды. Обработка едким натром.
7. Физико-химические основы и технология коагуляции.
8. Организация процесса в осветлителях. Схема осветлителя.
9. Обработка воды осаждением - известкование и содоизвесткование.
10. Фильтрация воды.
11. Теория ионного обмена.
12. Технология ионного обмена.
13. Технология ионного обмена – натрий-катионирование.
14. Технология ионного обмена – водород-катионирование.
15. Технология ионного обмена – обессоливание воды.
16. Совместное натрий-, водород-катионирование.
17. Оборудование ХВО. Схема ионообменного фильтра.
18. Методы стабилизации воды.
19. Теоретические основы деаэрации воды.
20. Деаэратеры.
21. Удаление углекислоты - декарбонизаторы.
22. Физические методы обработки воды - электродиализ.
23. Физические методы обработки воды - магнитная обработка.
24. Физические методы обработки воды - обратный осмос.
25. Эксплуатация ВПУ.
26. Контрольно-измерительные приборы. Датчики.
27. Питательные устройства.
28. Определение необходимой продувки котла и способы ее уменьшения.
29. Обработка котловой воды.
30. Схема противоточной установки непрерывного действия с гравитационной системой перемещения ионита (Асахи).
31. Прогрессивные технологии обработки воды и оборудование ВПУ - термохимическое умягчение.
32. Прогрессивные технологии обработки воды и оборудование ВПУ – установка с непрерывной ионитной лентой.
33. Прогрессивные технологии обработки воды и оборудование ВПУ – схема трехкорпусной установки непрерывного действия с неподвижным слоем ионита.
34. Схема ХВО с сокращенными стоками, бессточные схемы.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Текущая контроль студентов проводится преподавателями, ведущими лекции и практические занятия по дисциплине в форме собеседования и отчета по практическим занятиям. Предлагаемые студенту вопросы позволяют проверить ПК-1 компетенцию. Допуск к практическим работам происходит при наличии у студентов печатного варианта отчета. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Максимальное количество баллов студент получает, если оформление отчета соответствует установленным требованиям, а отчет полностью раскрывает суть работы. Основанием для снижения оценки являются:

- оформление не полностью соответствует установленным требованиям,
- отчет не полностью раскрывает суть работы.

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- оформление не соответствует установленным требованиям,
- расчеты произведены неточно.

5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Список основной литературы

1. Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике: учебное пособие: [16+]/Э. П. Гужулев, В. В. Шалай, В. И. Гриценко, М. А. Таран; Омский государственный технический университет. – Омск: Омский государственный технический университет (ОмГТУ), 2019. – 372 с. : ил., табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=682109>
2. Шачнева, Е. Ю. Водоподготовка и химия воды: учебно-методическое пособие для вузов / Е. Ю. Шачнева. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 104 с. — ISBN 978-5-8114-8005-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/171891>

Список дополнительной литературы

1. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок: пособие. – Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2009. – 192 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=57212>.
2. Химия воды и водоподготовка: учебное пособие / составители Г. А. Тихановская, Л. М. Воропай. — Вологда: ВоГУ, 2017. — 87 с. — Текст: электронный//Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/171290>
3. Стоянов, Н. И. Водоподготовка: курс лекций / Н. И. Стоянов, Е. И. Беляев, Й. Я. Куклите; Северо-Кавказский федеральный университет. – Ставрополь: Северо-Кавказский Федеральный университет (СКФУ), 2018. – 109 с.: схем, табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494813>

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной работе студентов

по дисциплине

«Химия воды»

Направление подготовки 08.03.01 Строительство
Направленность (профиль) Теплогазоснабжение и вентиляция

В методических указаниях по выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Химия воды» для студентов специальности 08.03.01 Строительство приведены вопросы для собеседования и исходные данные и рекомендации по расчетам. Методические указания могут быть использованы для практических расчетов в инженерной практике.

Вопросы для собеседования

1. Диссоциация воды.
2. Солевой состав воды, примеси.
3. Физико-химический состав воды.
4. Механизм образования накипи. Активная концентрация, произведение растворимости.
5. Влияние примесей на работу котла
6. Реагентная обработка воды. Обработка едким натром.
7. Физико-химические основы и технология коагуляции.
8. Организация процесса в осветлителях. Схема осветлителя.
9. Обработка воды осаждением - известкование и содоизвесткование.
10. Фильтрация воды.
11. Теория ионного обмена.
12. Технология ионного обмена.
13. Технология ионного обмена – натрий-катионирование.
14. Технология ионного обмена – водород-катионирование.
15. Технология ионного обмена – обессоливание воды.
16. Совместное натрий-, водород-катионирование.
17. Оборудование ХВО. Схема ионообменного фильтра.
18. Методы стабилизации воды.
19. Теоретические основы деаэрации воды.
20. Деаэраторы.
21. Удаление углекислоты - декарбонизаторы.
22. Физические методы обработки воды - электродиализ.
23. Физические методы обработки воды - магнитная обработка.
24. Физические методы обработки воды - обратный осмос.
25. Эксплуатация ВПУ.
26. Контрольно-измерительные приборы. Датчики.
27. Питательные устройства.
28. Определение необходимой продувки котла и способы ее уменьшения.
29. Обработка котловой воды.
30. Схема противоточной установки непрерывного действия с гравитационной системой перемещения ионита (Асахи).
31. Прогрессивные технологии обработки воды и оборудование ВПУ - термохимическое умягчение.
32. Прогрессивные технологии обработки воды и оборудование ВПУ – установка с непрерывной ионитной лентой.
33. Прогрессивные технологии обработки воды и оборудование ВПУ – схема трехкорпусной установки непрерывного действия с неподвижным слоем ионита.
34. Схема ХВО с сокращенными стоками, бессточные схемы.

По дисциплине «Химия воды» студент должен изучить основные разделы, определяемые следующими требованиями: студент должен знать основные показатели качества воды, методы обработки (водоподготовки) и правила ведения воднохимического режима; уметь выполнять расчеты по реагентной и ионообменной обработке воды и осуществлять расчет и подбор оборудования; иметь навыки осуществлять эксплуатацию

водоподготовительного оборудования и контроля качества обработанной воды.

Методические указания выполнены согласно программе дисциплины «Химия воды» для студентов специальности 08.03.01 Строительство.

Одним из видов самостоятельной работы студентов при изучении дисциплины «Химия воды» является выполнение самостоятельной работы.

Цель выполнения самостоятельной работы:

- сформировать компетенцию ПК-1: способность выполнять работы по проектированию наружных сетей систем теплогазоснабжения, котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей.

систематизация и закрепление изучаемого материала;

увязка теоретических основ дисциплины с решением практических задач;

формирование умения сделать оценку теоретических положений и использовать их в инженерной деятельности;

приобретение умений практического принятия инженерных решений.

Подбор и изучение необходимого материала, самостоятельное выполнение самостоятельной работы позволит студенту в большей степени подготовиться к принятию инженерных решений.

1. Формулировка задания на самостоятельную работу и ее объем

1.1 Задание

Провести расчет водоподготовительной установки (ВПУ) для энергетического предприятия, расчет и выбор основного и вспомогательного оборудования. Исходные данные индивидуального задания для расчета ВПУ приведены в таблице 1.1: вид энергетического предприятия, потребляющего очищенную воду; вид ВПУ и её производительность; вид водоисточника водоснабжения ВПУ.

Все исходные данные принимают по двум последним цифрам шифра, выданного преподавателем.

1.2 Состав СРС

СРС состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

1.2.1 Расчетно-пояснительная записка

На основании исходных данных выполнить следующие расчеты:

- по виду энергетического предприятия определить качественные параметры питательной и при необходимости котловой воды;
- по виду водоисточника представить солевой состав его воды по данным [5] в форме таблицы, представленной в приложении;
- произвести расчет баланса воды заданной схемы ВПУ по этапам технологии очистки воды;
- произвести расчет и выбор основного и вспомогательного оборудования.

1.2.2. Графическая часть

Разработать технологическую схему обработки воды.

Объем графической части – 1 лист формата А3 (12).

Таблица 1.1 – Индивидуальное задание для расчета водоподготовительных установок

шифр	Вид энергообъекта	Вид водоисточника	Вид В П У	Вид ионита	Производительность В П У
1	2	3	4	5	6
01	Теплосеть	р. Ишим	М-Нг-ФБ	Сульфоуголь	50
02	Пром. котел, р=1,4 МПа	р. Вятка 2	ИК-М-Na1- Na2	Сульфоуголь	150
03	Теплосеть	р. Кама 2	М-Na1	Сульфоуголь	75
04	Пром. котел, р=4,0 МПа	р. Кама 1	ИК-М-Н1-Д-А1	КУ-2; АН-31	100
05	Пром. котел, р=1,4 МПа	р. Ока-Рязань	ИК-М	КУ-2	200
06	Пром. котел, р=6,4 МПа	р. Белая 2	К-М-Н1-Д-А1	КУ-2; АН-31	80
07	Пром. котел, р=4,0 МПа	р. Волга-Казань 2	К-М-Н1-Д-А1	КУ-2; АН-31	330
08	Теплосеть	р. Вологда	М-Нг-ФБ	Сульфоуголь	120
09	Пром. котел, р=14 МПа	р. Ангара 1	М-Na1- Na2	КУ-2	110
10	Теплосеть	р. Волга-Кастово	К-М-Na1	КУ-2	250
11	Пром. котел, р=4,0 МПа	р. Плисса 1	ИК-М-Н1-Д-А1	КУ-2; АН-31	80
12	Пром. котел, р=6,4 МПа	р. Плисса 2	ИК-М-Н1-Д-А1	КУ-2; АН-31	120
13	Пром. котел, р=1,4 МПа	р. Ока-Горький 2	К-М-Na1- Na2	КУ-2	150
14	Теплосеть	р. Случь 1	М-Нг-ФБ	Сульфоуголь	180
15	Теплосеть	р. Волга-Калинин 1	К-М-Na1	Сульфоуголь	160
16	Пром. котел, р=1,4 МПа	р. Волга-Ярославль 1	К-М-Na1- Na2	КУ-2	250
17	Пром. котел, р=4,0 МПа	р. Клязьма 1	К-М-Н1-Д-А1	КУ-2; АН-31	180
18	Пром. котел, р=6,4 МПа	р. Миасс 1	ИК-М-Н1-Д-А1	КУ-2; АН-31	70
19	Котельная р=1,4 МПа	в/х Карагуновск	$M < \overset{H}{Na_1} > Д - Na_2$	КУ-2	190
20	Отопительная котельная	в/х Южное	М-Нг-ФБ	Сульфоуголь	110
21	Водогрейный котел	р. Уводь 1	М-Na1	КУ-2	280

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6
22	Котельная р=1,4 МПа	р. Клязьма 2	ИК-М-Na1- Na2	Сульфоуголь	170
23	Пром. котел, р=6,4 МПа	р. Обь 1	ИК-М-Н1-Д-А1	КУ-2; АН-31	150
24	Отопительная котельная Р=1,4 МПа	р. Москва 1	К-М-Na1- Na2	КУ-2	175
25	Отопительная котельная	р. Вятка 1	$M < \begin{matrix} \text{H} \\ \text{Na}_1 \end{matrix} > Д$	Сульфоуголь	230
26	Пром. котел, р=1,4 МПа	р. Томь 3	$M < \begin{matrix} \text{H} \\ \text{Na}_1 \end{matrix} > Д - \text{Na}_2$	КУ-2	160
27	Теплосеть	р. Дон 1	М-Нг-ФБ	Сульфоуголь	190
28	Теплосеть	р. Енисей 2	М-Na1	Сульфоуголь	350
29	Пром. котел, р=1,4 МПа	р. Иртыш 2	ИК-М-Na1- Na2	Сульфоуголь	300
30	Пром. котел, р=4,0 МПа	р. Волга-Казань 1	ИК-М-Н1-Д-А1	КУ-2; АН-31	70
31	Пром. котел, р=6,4 МПа	р. Волга-Калинин 2	ИК-М-Н1-Д-А1	КУ-2; АН-31	60

Принятые обозначения: И – известкование; К – коагуляция; М – механический фильтр; Na1- Na2 – натрий-фильтр 1 и 2 ступеней; Нг – водород-фильтр с «голодной» регенерацией; ФБ – фильтр-барьерный; Н1 – водород-фильтр 1 ступени; А1 –анионитный фильтр 1 ступени; Д – декабронизатор.

2. Общие требования к написанию СРС

Расчетно-пояснительную записку оформляют в соответствии с ГОСТ 2.105–95.

Расчетно-пояснительная записка должна быть написана от руки чернилами или шариковой ручкой на одной стороне листа формата А4 или отпечатана через полтора интервала. Допускается применять для графиков и диаграмм, входящих в состав расчетно-пояснительной записки, другие форматы, оставляя постоянной сторону листа 297 мм. Рабочее поле должно иметь рамку (на первых 5 – 7 листах), отстоящую от кромки листа справа, сверху и снизу на 5 мм и слева на 20 мм. Внизу должен размещаться штамп (основная надпись для первого листа текстовых документов и основная надпись для последующих листов). Листы пояснительной записки должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами, проставляемыми в правом верхнем углу страницы.

Название раздела пишется прописными буквами и располагается симметрично строке без переноса в словах. Точка в конце названия раздела не ставится, название не подчеркивается. Название раздела отделяется от последующего текста интервалом в одну строку. Каждый раздел начинается с новой страницы.

Подразделы должны иметь двойную нумерацию арабскими цифрами (напр., 1.1).

Название подраздела отделяется от последующего текста интервалом в 1 строку.

Части подраздела могут иметь тройную нумерацию (напр., 1.1.1). Дальнейшее деление не допускается.

Ссылки на использованные источники должны нумероваться арабскими цифрами по порядку появления в записке и помещаться в квадратные скобки.

Приложения, если их больше одного, обозначаются заглавными буквами русского алфавита. Каждое приложение должно начинаться с новой страницы.

Все иллюстрации должны иметь названия и последовательную нумерацию в пределах каждого раздела арабскими цифрами. Номер иллюстрации состоит из номера раздела и своего порядкового номера, напр.: Рисунок 3.2 (второй рисунок третьего раздела). Название помещается над иллюстрацией, номер – под иллюстрацией. Ссылки на иллюстрации в тексте обязательны.

Таблицы должны иметь названия и номера в пределах каждого раздела. Название и номер пишутся над таблицей, напр.: Таблица 1.1 – Номенклатура выпускаемой продукции. Точка в конце названия таблицы не ставится. Если таблица имеет продолжение, то на следующей странице пишется: Продолжение таблицы 1.1. Ссылки на таблицы в тексте обязательны.

Формулы должны писаться на отдельной строке. Формулы нумеруются арабскими цифрами, помещаемыми в круглых скобках справа от формулы по краю текста. Нумерация формул в пределах раздела – (4.2) (формула вторая четвертого раздела). После формулы ставится запятая и с новой строки после слова «где» идет расшифровка каждого обозначения. Расшифровке подлежат только обозначения, встречающиеся впервые. Ссылки на формулы в тексте обязательны.

Оформленная СРС должна иметь титульный лист и скреплена.

3. Рекомендации по организации выполнения СРС, примерный календарный план выполнения

3.1 Определение качественного состава исходной воды

3.1.1 По заданному виду энергообъекта, по данным информации о водно-химическом режиме энергетических устройств из «Правил технической эксплуатации тепловых электрических станций и котельных» [4] или других источников [5, с. 49 – 54] определяются основные качественные показатели параметров состава питательной воды, которые определяют степень очистки исходной воды на ВПУ.

Качественные параметры сводятся в отдельную таблицу.

3.1.2 По заданному виду водоисточника из источников определяются основные качественные параметры воды этого источника и представляются в табличной форме в двух измерениях: мг/л и мг экв/л [5, 6].

3.1.3 По выявленным качественным параметрам очищенной и исходной воды обосновываются технологические операции в заданной схеме водоподготовительной установки. Исполняется на формате А3 принципиальная схема выбранной ВПУ. При выборе пользоваться информацией изложенной в [4, с. 54 – 62; 5, с. 35 – 38].

3.2 Составление баланса воды принятой схемы водоподготовительной установки

Решение данного вопроса позволит приблизительно оценить расходы воды на собственные нужды по каждому этапу её очистки.

Для обобщения этого решения в качестве примера принимаем наиболее сложную схему ВПУ: известкование с коагуляцией в осветителе; доосветление на механическом фильтре с последующим полным химобессоливанием, т. е. по схеме: ИК-М-Н1-А1-Н2-Д-А2. При рассмотрении более упрощенной схемы решение ведётся аналогично только по имеющимся этапам очистки воды.

Основной определяемой величиной в решении данного вопроса является величина расходов воды на собственные нужды по стадиям обработки (P) в % от заданной производительности ВПУ.

Так, для операций «К» или «ИК»:

$$P_K = P_{ик} = 1\%; \quad (3.1)$$

- для операции «М» – $P_M = 0,5\%$ (за счет повторного использования промывочных вод ВПУ).

Далее поставленный вопрос решается проще, если искомую величину (расход на собственные нужды) определять, начиная с последующей операции очистки воды:

- для A_2

$$P_{A_2} = \frac{P_{H(A_2)} \cdot \sum(CO_2 + SiO_3^{2-})}{E_{A_2(AB-17)}^P} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

где CO_2 и SiO_3^{2-} – остаточные величины после операции «Д»;

$P_{H(A_2)} = 14,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – удельный расход воды на собственные нужды анионита АВ-17. Эти величины для всех видов ионирования приведены в таблице 2 – 14 [7] (в зависимости от вида ионирования и вида ионита);

$E_{A_2(AB-17)}^P$ – рабочая емкость поглощения анионита принимается с графика рис. 2 – 15 [7].

– для H_2

$$P_{H_2} = \frac{P_{H(H_2)} \cdot (100 + P_{A_2}) \cdot [Na^+]_{ост.}}{E_{H_2(KV-2)}^P} 100\%, \quad (3.3)$$

где $[Na^+]_{ост.} = (CO_2 + [SiO_3^{2-}])$ – см. выше, мг экв/л;

$E_{H_2(KV-2)}^P = 400 \text{ г экв/м}^3$ – (из графика рис. 2 – 10 [7]);

$P_{H(H_2)}$ – принимается по табл. 2 – 14 [7].

– для A_1

$$P_{A_1} = \frac{P_{u(A_1)} \cdot (100 + P_{A_2} + P_{H_2}) \cdot \sum([SO_4^{2-} + Cl^- + NO_3^-])}{E_{A_1(AH-31)}^P} 100\%, \quad (3.4)$$

где $[SO_4^{2-}]$; $[Cl^-]$; $[NO_3^-]$ – концентрации анионов в исходной воде;

$E_{A_1(AH-31)}^P$ – принимается по графику рис. 2 – 14 и табл. 2 – 5 [7];

$P_{u(A_1)}$ – принимается по табл. 2 – 14 [7];

P_{A_2} и P_{H_2} – рассчитаны выше.

– для H_1 :

$$P_{H_1} = \frac{P_{u(H_1)} \cdot (100 + P_{A_2} + P_{H_2} + P_{A_1}) \cdot \sum K}{E_{H_1(KV-2)}^P} 100 \%, \quad (3.5)$$

где $\sum K = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^+]$ – сумма катионов исходной воды;

$E_{H_1(KV-2)}^P$ – принимается по графику рис. 2 – 6 и табл. 2 – 5 [7];

$P_{u(H_1)}$ – принимается по табл. 2 – 14 [7].

Суммарный расход воды на собственные нужды ВПУ составит произведение суммы этой величины по этапам очистки на заданную производительность ВПУ. Этот расход с заданной производительностью поступает на первый этап её очистки. Полученный каждый расход используется в расчёте соответствующего этапа очистки воды.

3.3 Расчет принципиальной схемы ВПУ по этапам технологии очистки воды

3.3.1 Расчет технологии коагуляции и известкования с осветлением

В технологии очистки воды процесс коагуляции применяется в основном для поверхностных водоисточников. Возникающая в воде при таком процессе кислотность нейтрализуется как щелочностью исходной воды, так и известкованием. Последним также достигается снижение бикарбонатной щелочности (жесткости) воды до $Щ_{ост} = 0,3 \dots 0,7$ мг экв/л.

Для коагуляции воды необходимо выбрать вид коагуляции из применяемых на практике: закисное сернокислородное или хлористое железо ($FeSO_4$ или $FeCl_3$), либо сернокислый алюминий ($Al(SO_4)_3$).

При дозировании коагулянта в воду он гидролизуеться с образованием положительно заряженных коллоидных частиц гидрата окиси металла (Fe^{2+} или Al^{3+}). Содержащиеся в воде коллоидные частицы загрязнений с отрицательными зарядами и вновь образовавшиеся коллоидные частицы коагулянта с положительными зарядами, взаимно притягиваясь, разряжаются, укрупняются и в виде хлопьев отделяются от воды и оседают.

Представить химические реакции процесса коагуляции и известкования для нейтрализации, осаждения бикарбонатов кальция и магния и связывания свободной углекислоты.

На практике дозу коагулянта (K) железного купороса или сернокислого алюминия ориентировочно принимают равными, в мг экв/л:

	$FeSO_4$	$Al_2(SO_4)_3$
в период весеннего паводка	0,7	1,0
летом	0,35	0,7
зимой	0,18	0,53

В результате коагулирования и известкования изменится солевой состав воды.

При коагулировании сернокислыми солями содержание сульфат-иона $[SO_4^{2-}]$ возрастает на величину:

$$\Delta[SO_4^{2-}] = K_{AE(Fe)}, \text{ мг экв/л}, \quad (3.6)$$

где $K_{AE(Fe)}$ – доза 100 % коагулянта в мг экв/л.

Содержание карбонат-иона ($[CO_3^{2-}]$) уменьшится на величину требуемой карбонатной щелочности исходной воды на нейтрализацию водород-ионов, возникающих при коагуляции:

$$\Delta[CO_3^{2-}] = K_{AE(Fe)}, \text{ мг экв/л}. \quad (3.7)$$

Общая жесткость не изменится, а некарбонатная жесткость увеличится на величину уменьшения карбонатной жесткости, т. е. на величину $\Delta[CO_3^{2-}]$.

Карбонатная щелочность $Щ_K$ снизится на величину $\Delta[CO_3^{2-}]$.

Содержание кремнекислоты ($[SiO_3^{2-}]_K$) снизится на 15....25% – $[SiO_3^{2-}]_K = 0,15....0,25[SiO_3^{2-}]$.

Концентрации ионов $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$, $[Na^+]$, $[Cl^-]$ и др. остаются без изменения.

В таблице солевого состава исходной воды вписать её солевой состав после коагуляции.

Известкование производится совместно с коагуляцией для нейтрализации остаточной кислотности воды при недостатке её щелочности и для снижения этой щелочности до остаточного её значения – $Щ_{ост}^K = 0,7$ мг экв /л.

По соотношениям между карбонатной щелочностью ($Щ_K$) исходной воды и дозой коагулянта (K) доза извести определяется:

при $Щ_K < K$

$$И = K - Щ_K^{u.в.} + [(SiO_3^{2-})_{u.в.} - (SiO_3^{2-})_{ост}] + CO_2; \quad (3.8)$$

при $Щ_K > K$

$$И = (Щ_K^{u.в.} - Щ_K^{ост}) + K + [(SiO_3^{2-})_{u.в.} - (SiO_3^{2-})_{ост}] + CO_2 + И_{изб}, \text{ мг экв/л,} \quad (3.9)$$

где $И_{изб}$ – избыток извести (принимают 0,5.....0,3 мг экв/л);

$[SiO_3^{2-}]$ – остаточное кремнесодержание в воде после известкования, рекомендуемое до 5 мг/л;

CO_2 – концентрация растворённой в воде свободной углекислоты, принимается по рис. 5.9 [5].

В первом случае щелочность воды после коагуляции и известкования будет только гидратная – $Щ_g (OH^-)$, обусловливаемая незначительным избытком извести, а общая жесткость воды будет сформирована только из некарбонатной. В этом случае карбонатная щелочность будет близка к нулевому значению. Во втором случае щелочность будет в основном карбонатной, обусловливающей карбонатную жесткость воды, а численное значение их соответствует:

$K_K^{ост} = Щ_K^{ост} = 0,7$ мг экв/л. При этом общая жесткость становится равной:

$$Ж_o = Ж_{нк} + K + Щ_K^{ост}. \quad (3.10)$$

Концентрации катионов кальция $[Ca^{2+}]$ и $[Mg^{2+}]$ в воде после рассматриваемых технологий можно рассчитывать согласно следующим соображениям:

1. При нейтрализации кислоты от коагуляции бикарбонатной щелочностью исходной воды концентрация исходных катионов не меняется (реакции нейтрализации) ввиду высокой растворимости получаемых в результате этого сульфатов кальция и магния.

2. При дальнейшей нейтрализации оставшейся кислотности известью концентрация кальция эквивалентно увеличится по отмеченной причине.

3. Если оставшиеся бикарбонат-ионы (HCO_3^-) после указанной нейтрализации превышают 0,7 мг экв/л – уровня растворимости карбоната кальция $CaCO_3$, то такое превышение $[HCO_3^-]$ осаждается известью, а, следовательно, на эту величину снизятся концентрации искомых катионов. При этом в первую очередь осаждаться будет карбонат кальция. Если катиона кальция для осаждения карбонатов до отмеченного уровня не достаточно, то оставшаяся его часть будет осаждаться в виде $Mg(OH)_2$. При этом осаждение катиона кальция осуществляется до 0,7 мг экв/л (см. выше).

Содержание бикарбонат-иона (HCO_3^-) принимается равным 0,7 мг экв/л.

Содержание сульфат-иона (SO_4^{2-}) увеличивается на величину дозы коагулянта (K).

Содержание кремнекислоты (SiO_3^{2-}) снижается до 2,0.....4,0 мг/л. (Перевести в мг экв/л).

Содержание окислов железа снижается до нуля. Показатель окисляемости воды снизится на 75%.

Солесодержание воды определяется как сумма концентрации всех катионов и анионов, выраженных в мг/л.

Рассчитанный ионный состав воды после известкования заносится в сводную таблицу по составу воды.

Расход коагулянта:

$$G_k = Q_{u.в.} \cdot K, \text{ кг/ч (сут)}, \quad (3.11)$$

где $Q_{u.в.}$ – расход исходной воды, кг/ч (сут);

K – доза коагулянта, кг/л, определяется из вышеприведённых норм.

Расчетный расход 100%-й негашеной извести (CaO) в граммах на обработку очищаемой 1 м³ воды определяется по формуле:

$$g_u = 28[(Ж_k - 0,7....1,0) + CO_2 + Fe^{3+} + R + 0,5SiO_3 + 0,75O_{pг.}], \text{ г/м}^3. \quad (3.12)$$

Расчетный часовой и суточный расход технической извести при 60%-м содержании в ней активной окиси кальция:

$$G_u = Q_{u.в.} \cdot g_u \cdot \frac{1}{0,6}, \text{ кг/ч (сут)}. \quad (3.13)$$

Расчет количества осадка, выделяющегося в осветлителе из каждого 1 м³ обрабатываемой воды, ведётся по формуле:

$$g_{ш} = 50,03 \cdot [(2 \cdot Ж_k^{Ca} - 0,7....1,0) + CO_2] + 29,17 \cdot Ж_k^{Mg} + 35,5(Fe^{2+} + K) + 0,5[SiO_3^{2-}] + 0,75O_{pг.} + B. \quad (3.14)$$

После этого определяется часовое и суточное количество образующегося осадка ($G_{ш}^{час}$; $G_{ш}^{сут}$).

Приведённые в формулах величины означают:

– 28; 50,03; 29,17; 35,5 – грамм-эквиваленты соответственно окиси кальция (извести), карбоната кальция, гидрата окиси магния, гидрата окиси железа;

- 0,5; 0,75 – степень осаждения соответственно кремнекислоты и органики;
- B – количество взвешенных веществ в обрабатываемой воде, г/м³, из таблицы исходного состава воды.

3.3.2 Расчет осветлителя

Принимается вертикальный осветлитель с шламоотсасывающим шламосборником.

Некоторые расчетные технологические показатели осветлителей:

- температура обрабатываемой воды – 30.....40 °С;
- время пребывания воды в осветлителе – 2 – 3 часа;
- скорость подъёма воды в зоне взвешенного шлама – 3,6...5,0 м/ч;
- скорость подъёма воды в осветлённой зоне – 2,5...3,0 м/ч;
- время контакта воды со слоем шлама – 1 час;
- высота зоны осветлённой воды – от верхней границы взвешенного слоя до сливного желоба – 2 м;
- постоянство температуры ($\pm 1^\circ\text{C}$) обрабатываемой воды и производительности;
- скорость движения воды в подводящей трубе – 0,5 м/с;
- скорость движения воды в отверстиях водораспределительных устройств – 1 м/с;
- конусность днища осветлителя (отстойника) – 60°.

Количество воды, подаваемой в осветлитель, определяется по формуле:

$$Q_{нв} = Q_{осв} + 0,01 \cdot P_{ик(к)} \cdot Q_{осв}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.15)$$

где $Q_{осв}$ – производительность осветлителей по осветлённой воде, м³/ч;

$P_{ик(к)}$ – расход воды на собственные нужды осветлителя, т. е. по операции ИК.

При проектировании установок с осветлителями производительность последних ($Q_{осв.i}$) выбирается с запасом 25% против расчетной.

По требуемой выработке осветлённой воды с учетом 25%-го запаса выбрать номинальную производительность одного осветлителя и количество их по [5, с. 64; с. 176 – 180].

После выбора номинальной производительности осветлителя, рассчитать его площади: зоны осветления и сечения осадкоуплотнителя:

$$F_{осв} = F_{з.о.} + F_{о.у.} = \frac{K_p \cdot Q_{ном}}{U_p} + \frac{(1 - K_p) \cdot Q_{ном} \cdot \varphi}{U_p}, \text{ м}^2, \quad (3.16)$$

где K_p – коэффициент распределения воды между зоной осветления и осадкоуплотнителем. Обычно отсос воды в осадкоуплотнителе составляет 15.....20% от общего осветляемого потока воды. Следовательно – $K_p = 0,8$;

φ – коэффициент возможного подсоса осветлённой воды в осадкоуплотнителе, принимаемый равным 1,2;

U_p – расчётная скорость восходящего потока воды в зоне осветления, м/ч, значения приведены выше.

По рассчитанным площадям определить диаметры в зоне осветления и шламоуплотнения. Линейные размеры и другие характеристики взяты из табл. 8.1 – 8.4 [5]. Рассчитанные величины свести в сводную таблицу.

3.3.3 Расчет осветлительных фильтров

В составе любой ВПУ, работающей на поверхностных водах, имеются осветлительные (механические) фильтры, в основном однопоточные; загруженные на высоту 1....1,2 м дробленным антрацитом с фракцией 0,6....1,4 мм или кварцевым песком. В технологической схеме очистки воды их устанавливают после осветлителей. Выбор их производится либо по их номинальной производительности осветляемой воды, либо по диаметру их

корпуса. Количество выбираемых фильтров должно быть не менее двух, при производительности всей установки не более 100 м³/ч, и не менее трёх – при производительности более 100 м³/ч.

Скорость фильтрации ($U_{м.ф.}$), определяющая производительность данного фильтра, принимают в интервале 5....12 м/ч в зависимости от степени загрязнённости фильтруемой воды и форсирования нагрузки. Номинальной считают – 5....7,5 м/ч ([5], табл. 5.2.).

Для заданной производительности установки необходимо выбрать количество механических фильтров с определённым диаметром, а так же рассчитать расход воды на их промывку.

Общая площадь фильтрования F (м²) приближенно определяется по формуле:

$$F = \frac{Q_{м.ф.}}{U_{м.ф.}}, \text{ м}^2, \quad (3.17)$$

где $Q_{м.ф.}$ – расход осветлённой воды из осветлителя, который составляет сумму расходов воды, идущей на дальнейшую обработку и на собственные нужды механических фильтров, составляющие $P_{м.} = 0,5 \%$ от производительности ВПУ, т. е. $Q_{осв.} = 1,05 Q_{впу}$;

$U_{м.ф.}$ – номинальная скорость фильтрации воды принимается из вышеприведённых условий.

Площадь фильтрования и диаметр каждого фильтра определяется путём подбора по формуле:

$$f_{м.ф.} = \frac{\Pi}{4} \cdot d_{м.ф.}^2 = \frac{F}{a_{ф.} - 1} = \frac{Q_{м.ф.}}{U_{м.ф.} (a_{ф.} - 1)}, \text{ м}^2 \quad (3.18)$$

или

$$d_{м.ф.} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{м.ф.}}{\Pi \cdot U_{м.ф.} \cdot (a_{ф.} - 1)}}, \text{ м}, \quad (3.19)$$

где $a_{ф.}$ – предполагаемое число фильтров, принимаемое равным, начиная с двух комплектов;

$(a_{\phi}-1)$ – то же, работающих.

Выбрав оптимальное число фильтров, рассчитав сечение одного фильтра, определяется его диаметр, который должен быть в интервале $2000 \leq d_{\phi} \leq 3600$ мм, затем округляется в сторону увеличения и выбирается марка фильтра по таблицам 5.3, с. 69 [5].

Расход воды на одну промывку фильтра определяется по формуле:

$$q_{np} = \frac{i_{\phi} \cdot 60 \cdot \tau_{\phi} \cdot f_{м.ф.}}{1000}, \text{ м}^3/\text{пром.}, \quad (3.20)$$

где $i_{\phi} = 6 \dots 12$ л/см² – интенсивность взрыхления. Меньшее значение принимается для взрыхления воздухом вместе с водой;

τ_{ϕ} – продолжительность взрыхляющей промывки, принимается 15.... 20 мин.

Уточнённый среднечасовой расход воды на собственные нужды можно определить по формуле:

$$Q_{с.н.}^{м.ф.} = \frac{q_{np} \cdot r \cdot a_{\phi}}{24}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.21)$$

где r – число промывок каждого фильтра в сутки, принимается 1 – 2 раза.

Уточняется скорость фильтрации при форсированном режиме, которая по нормативам составляет 8,5....12 м/ч:

$$U_{фор} = \frac{Q_{осв.}^{м.ф.} + Q_{с.н.}}{f_{\phi} \cdot (a_{\phi} - 2)}, \text{ м/ч}, \quad (3.22)$$

где 2 – число отключенных фильтров (один в ремонте и один на промывке).

При превышении рассчитанной скорости нормативной необходимо увеличить число работающих фильтров и расчет повторить.

3.3.4 Расчет натрий-катионитного умягчения и натрий-катионитных фильтров

Умягчение воды путём натрий-катионирования достигается либо по одноступенчатой, либо двухступенчатой схеме – последовательным фильтрованием воды через фильтр первой и затем второй ступени.

При одноступенчатом умягчении жесткость воды снижается до 0,1 мг экв/л при жесткости исходной воды не более 7 мг экв/л.

При двухступенчатой схеме умягчение воды достигается до жесткости 0,01...0,02 мг экв/л. Следовательно, число ступеней катионирования определяется требованиями к качеству умягчаемой воды, учитывая начальную жесткость исходной воды.

При круглосуточной работе установки количество натрий-катионитных фильтров первой ступени принимается не менее двух, при этом один должен быть резервным.

Для второй ступени катионирования обычно принимают два фильтра с укороченной геометрической высотой при высоте слоя катионита 1,5 м против 2,5 м в первой ступени. В некоторых случаях, особенно при малых производительностях ВПУ, фильтры второй ступени принимают такие же, как и первой ступени. В этом случае число фильтров тоже будет четыре: два – первой ступени, один – второй ступени и один – резервный для обеих ступеней.

Основными исходными данными для расчёта натрий-катионитной установки являются: производительность, общая жесткость умягченной воды и остаточная жесткость фильтра.

Основные справочные данные для расчета натрий-катионитовых фильтров приведены в табл. 5.4. [5].

Расчет натрий-катионитного фильтра начинается с определения необходимого диаметра фильтра и их количества (a_{ϕ}) по номинальной допустимой скорости фильтрации, принятой из табл. 5.4. [5] в зависимости от жесткости умягчаемой воды.

Сечение фильтра будет:

$$f_{\phi} = 0,785 d_{\phi}^2 = \frac{Q_{Na}}{U_n \cdot a_{\phi}}, \text{ м}^2, \quad (3.23)$$

где Q_{Na} – производительность натрий-катионитной установки (дано по заданию или принять равной $(Q_{м.ф.} + P_{Na2} \cdot Q_{вну})$, м³/ч;

U_n – номинальная скорость фильтрации, м/г; из табл. 5.4. [5];

a_{ϕ} – число одновременно работающих фильтров первой (или второй) ступени с учетом фильтра, находящегося на регенерации, но без учета резервного, находящегося в ремонте или в резерве.

Максимальная скорость фильтрации определяется по аналогичной формуле:

$$U_{mak.} = \frac{Q_{Na}}{f_{\phi} (a_{\phi} - 1)} \quad (3.24)$$

и не должна превышать её максимально допустимого значения (табл. 5.4. [5]).

Размеры (в основном диаметр) и количество фильтров каждой ступени выбираются таким образом, чтобы при наименее благоприятном качестве исходной воды и ремонте резервного фильтра число регенераций каждого фильтра было не более трех за сутки.

Для расчета числа регенераций фильтра необходимо рассчитать количество солей жесткости, поглощаемых натрий-катионированием за сутки:

$$A_{жс} = 24 \Delta Ж \cdot Q_{Na}, \text{ г экв/сут}, \quad (3.25)$$

где $\Delta Ж = Ж_{ув} - Ж_{ост}$ – соли жесткости, поглощенные в первой ступени или второй ступени фильтра, в зависимости какая ступень рассчитывается, г экв/м³.

Число регенераций каждого фильтра в сутки определяется по формуле:

$$n_p = \frac{A_{жс}}{f_{\phi} \cdot H_{сл} \cdot E_p^{Na} \cdot a_{\phi}}, \text{ рег/сут} \quad (3.26)$$

где $H_{сл}$ – высота слоя катионита (см. выше), м;

a_{ϕ} – число работающих фильтров, предварительно принято;

E_p^{Na} – рабочая обменная способность катионита при натрий-катионировании, (г экв)/м³, определяется по уравнению:

$$E_p^{Na} = \alpha_{\varepsilon} \cdot \beta_{\varepsilon} \cdot E_{пол.}^{Na} - 0,5g_{отм} \cdot \Delta Ж, \quad (3.27)$$

решается по методике, приведённой в [5, с.72 – 76].

После этого расчета рассчитывается суточный расход технической соли на регенерацию фильтров по формуле:

$$Q_{NaCl}^T = \frac{Q_c \cdot a_{\phi} \cdot n_p \cdot 100}{93}, \text{ кг/сут}, \quad (3.28)$$

где 93% – содержание $NaCl$ в технической соли;

Q_c – расход поваренной соли на одну регенерацию фильтра, (кг) который определяется из уравнения:

$$Q_c = \frac{E_p^{Na} \cdot f \cdot H_{сл} \cdot g_c}{1000}, \text{ кг/рег.}, \quad (3.29)$$

где g_c – удельный расход соли на регенерацию, г/(г экв) обменной способности катионита, принимается согласно методике и рекомендаций, изложенных в [5, с. 73 – 74].

Расход воды на одну регенерацию натрий-фильтра складывается из её расходов на взрыхление катионита, приготовление солевого регенерационного раствора и на отмывку катионита от продуктов регенерации:

1. Расход воды на взрыхляющую промывку фильтра:

$$Q_{взр.} = \frac{i \cdot f_{\phi} \cdot 60 \cdot \tau_{взр.}}{1000}, \text{ м}^3/\text{рег.}, \quad (3.30)$$

где i – интенсивность взрыхления фильтра, принимаемая в интервале 3..... 4 л/(с·м²);

$\tau_{взр.}$ – продолжительность взрыхления, принимаемая равной 15..... 20 мин.

2. Расход воды на приготовление регенерационного раствора соли на одну регенерацию:

$$Q_{p-p} = \frac{Q_c \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{p-p}}, \text{ м}^3/\text{рег.}, \quad (3.31)$$

где b – концентрация регенерационного раствора, принимаемая 5.....8%;

ρ_{p-p} – плотность регенерационного раствора, т/м³, принимается по табл. 15 – 6 [5] в зависимости от принятой концентрации раствора.

3. Расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации:

$$Q_{отм.} = g_{отм.} \cdot f_{\phi} \cdot H_{сл.}, \quad (3.32)$$

где $g_{отм.}$ – удельный расход воды на отмывку катионита, принимаемый 4..... 8 м³/м³, согласно табл. 5.4 [5], в зависимости от вида катионита и натрий- фильтра.

4. Расход воды на одну регенерацию фильтра составит:

$$Q_{сн} = Q_{взр} + Q_{p-p} + Q_{отм.}, \text{ м}^3/\text{рег.}, \quad (3.33)$$

а при использовании отмывочной воды для взрыхления суммарный расход воды на регенерацию составит:

$$Q'_{сн} = Q_{p-p} + Q_{отм}. \quad (3.34)$$

Уточнённый среднечасовой расход воды на собственные нужды натрий-катионитных фильтров определится:

$$Q_{сн}^{час} = \frac{Q_{сн} \cdot a_{\phi} \cdot n}{24}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.35)$$

расход выразить в % по отношению к расходу умягченной воды.

Межрегенерационный период работы каждого фильтра определяется из уравнения:

$$T_{Na} = \frac{24}{n_p} - \tau_{рег}, \quad (3.36)$$

где $\tau_{рег}$ – время регенерации фильтра, равное:

$$\tau_{рег} = \tau_{взр} + \tau_{p-p} + \tau_{отм}, \text{ мин}, \quad (3.37)$$

где $\tau_{взр}$ – время взрыхления выше рекомендовано, мин;

τ_{p-p} – время пропуска регенерационного раствора:

$$\tau_{p-p} = \frac{Q_{p-p} \cdot 60}{U_{p-p} \cdot f_{\phi}}, \text{ мин}, \quad (3.38)$$

где U_{p-p} – скорость пропуска раствора соли принимаемая 3.....5 м/ч;

$\tau_{отм}$ – время отмывки катиона:

$$\tau_{отм} = \frac{Q_{отм} \cdot 60}{U_{отм} \cdot f_{\phi}}, \text{ мин}. \quad (3.39)$$

где $U_{отм}$ – скорость пропуска отмывочной воды ($Q_{отм}$), принимаемая 6... 8 м/ч.

При необходимости так же рассчитывается количество одновременно регенерируемых фильтров по формуле:

$$n'_p = \frac{n_p \cdot a_\phi \cdot \tau_{рег}}{24} . \quad (3.40)$$

Приведённой методикой расчета достигается:

- обоснованный выбор типа марки и количества натрий-катионитных фильтров;
- оценка расхода регенерационного реагента и не технологического расхода воды на собственные нужды установки;
- обеспечение нормального режима технологии натрий-катионитного умягчения воды;
- возможность дальнейшего расчета и выбора вспомогательного оборудования (различные баки, насосы, дозирующие устройства и т. д.).

3.3.5 Расчет водород-катионирования и водород-катионитных фильтров при различных схемах очистки воды

В зависимости от требований, предъявляемых к качеству обработанной воды, водород-катионирование осуществляется по различным схемам:

- водород-катионирование с «голодной» регенерацией фильтров осуществляется, когда требуется удаление только карбонатной жесткости до 0,7...1,2 мг экв/л с одновременным удалением из воды свободной углекислоты (CO_2);
- водород-катионирование в схемах параллельного водород-натрий-катионирования осуществляется, когда невозможно осуществить «голодную» регенерацию фильтров по составу исходной воды или требуется более глубокое окисление щелочности воды (до 0,3 мг экв/л);

– водород-катионирование в схемах химического обессоливания осуществляется, когда требуется частичное или полное обессоливание исходной воды.

Основные технологические данные для расчета водород-катионитных фильтров приведены в табл. 5.9, 5.10 [5].

А) Схема водород-катионирования с «голодной» регенерацией катионита.

Расчет водород-фильтра при его регенерации с «голодной» дозой кислоты (на уровне стехиометрического её расхода) начинается с определения коэффициентов «К» и «А» по качественным показателям исходной воды по уравнениям [5, с. 29 – 32; 83 – 85]:

$K = \frac{[Na^+]}{Ж_o}$ – характеристика катионного состава исходной воды;

$A = \frac{[HCO_3^-]}{[Cl^-] + [SO_4^{2-}]}$ – характеристика анионного состава исходной воды.

По численным значениям этих величин, согласно табл. 2 – 4 [5], принимаются рекомендации к осуществлению рассматриваемой схемы умягчения, а точнее декарбонизации воды. Из этой же таблицы принимаются рабочая обменная способность сульфогля, доза кислоты на регенерацию и достижимая в результате декарбонизации воды её карбонатная щелочность. При изучении таблицы обратить внимание на примечание.

Технологические данные для расчета водород-катионитных фильтров принимать по таблицам 5 – 9 и 5 – 10 [5, с. 81 – 82].

Расчет начинается с определения диаметра фильтра, последовательно задаваясь количеством работающих фильтров (a_ϕ) с номинальной скоростью фильтрации (U_n) с последующей проверкой кратковременной максимальной скорости фильтрации. Этот расчет ведется аналогично, как и натрий-катионитного фильтра. Последующие расчеты тоже аналогичны.

Количество поглощенных катионов бикарбонатной жесткости:

$$A_{\Gamma} = 24 \cdot Q_n \cdot (J_{\kappa} - J_{\kappa}^{ост}), \text{ г экв/сут,} \quad (3.41)$$

где $J_{\kappa}^{ост} = 0,6 \dots 0,7$ мг экв/л – остаточная карбонатная жесткость;

Q_n – номинальная производительность установки, м³/ч.

Число регенераций в сутки:

$$n_p = \frac{A_{\Gamma}}{f_n \cdot H_{сл} \cdot E_p^{\Gamma} \cdot a_{\phi}}, \text{ рег./сут,} \quad (3.42)$$

где E_p^{Γ} – ёмкость поглощения катионита при рассматриваемом режиме очистки воды берётся из табл. 2 – 4 [5].

Расход 100%-й серной кислоты на регенерацию водород-фильтра:

$$Q_{\kappa}^{\Gamma} = \frac{q_{\kappa}^{\Gamma} \cdot f_n \cdot H_{сл} \cdot E_p^{\Gamma}}{1000}, \text{ кг/рег.,} \quad (3.43)$$

где q_{κ}^{Γ} – удельный расход кислоты при «голодном» режиме регенерации, г/г экв (табл. 2.4 [5]).

Расход технической кислоты на регенерацию фильтров в сутки:

$$Q_{тк}^{\Gamma} = \frac{Q_{\kappa}^{\Gamma} \cdot n_p \cdot a_{\phi} \cdot 100}{c \cdot 1000}, \text{ кг/сут,} \quad (3.44)$$

где $c = 92\%$ – концентрация технической кислоты.

Расход воды на одну регенерацию фильтра:

1. Расход воды на взрыхление $Q_{взр}$ определяется как и для натрий-фильтра или по данным табл. 5.9 [5];

2. Расход воды на приготовление регенерационного раствора кислоты:

$$Q_{p-p}^{\Gamma} = \frac{Q_{\kappa}^{\Gamma} \cdot 100}{1000 \cdot \epsilon \cdot \rho_{p-p}}, \text{ м}^3/\text{рег.}, \quad (3.45)$$

где $\epsilon = 1,5 \dots 2\%$ – концентрация регенерационного раствора;

ρ_{p-p} – плотность этого раствора, т/м³ из табл. 15 – 7 [5].

3. Расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации:

$$Q_{отм} = q_{отм}^H \cdot f_n \cdot H_{сл}, \text{ м}^3/\text{рег.}, \quad (3.46)$$

где $q_{отм}^H$ – удельный расход воды на отмывку катионита, м³/м³ из табл. 5 – 10 [5].

Таким образом, суммарный расход на собственные нужды составит:

$$Q_{сн}^{\Gamma} = Q_{взр} + Q_{p-p} + Q_{отм}, \text{ м}^3/\text{рег.} \quad (3.47)$$

или при использовании собственной воды (отмывочной) на взрыхление будет:

$$Q'_{сн} = Q_{p-p} + Q_{отм}, \text{ м}^3/\text{рег.} \quad (3.48)$$

Среднечасовой расход воды на собственные нужды водород-фильтров определяется по формуле:

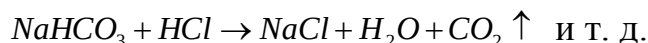
$$Q_{час}^{\Gamma} = \frac{Q_{сн}^{\Gamma} \cdot n_p \cdot a_{\phi}}{24}, \text{ м}^3/\text{ч.} \quad (3.49)$$

Время по этапам регенерации, общее время регенерации и межрегенерационного периода работы каждого фильтра определяются аналогично как и для натрий-фильтров, данные табл. 5 – 9 и 5 – 10 [5].

Б) Схема параллельного водород-натрий-катионирования.

Данная схема применяется в тех случаях, когда невозможно применить водород-катионирование с «голодной» регенерацией катионита, т. к. в последнем случае фильтрат имеет кислую реакцию и сток регенерации тоже кислый. При рассматриваемой схеме обрабатываемая вода разделяется на два потока, каждый

из которых пропускается через водород-натрий-катионитные фильтры. Каждый поток умягчается до остаточной жесткости фильтра около 0,1 мг экв/л, после чего (кислотность эквивалентна некарбонатной жесткости) водород-катионированная вода смешивается со щелочной натрий-катионированной водой (щелочность эквивалентна щелочности исходной воды). При смешивании происходит реакция нейтрализации:



Образовавшаяся свободная углекислота удаляется из обрабатываемой воды путём продувки воздухом в декарбонизаторе.

При данной схеме остаточная щелочность обрабатываемой воды снижается до 0,35 мг экв/л.

При водород-натрий-катионировании доля воды, обрабатываемой на водород-катионитных фильтрах, определяется из уравнений:

– при $Щ_{ув} > Ж_k$

$$y = \frac{Щ_{ув} - Щ_{ост}}{Ж_{ув} - Ж_{нк}} = \frac{Щ_{ув} - Щ_{ост}}{Ж_k} ;$$

– при $Щ_{ув} = Ж_k$

$$y = \frac{Щ_{ув} - Щ_{ост}}{Ж_o} ,$$

а доля на натрий-фильтры:

$$x = 1 - y .$$

Производительность соответственно водород- и натрий-фильтров:

$$Q_n = y \cdot Q_{уст} \quad \text{и} \quad Q_{Na} = (1 - y) \cdot Q_{уст} .$$

Предварительный выбор диаметра и количества водород- и натрий-фильтров осуществляется по ранее приведённой методике (табл. 5 – 4 и 5 – 9, [5]).

Количество солей жесткости, удаляемое на водород-катионитных фильтрах:

$$A_n = 24 \cdot Q_n \cdot (Ж_o - Ж_{ост}), \text{ г экв/сут.} \quad (3.50)$$

Число регенераций каждого водород-фильтра:

$$n_n = \frac{A_n}{f_n \cdot H_{сл} \cdot E_p^n \cdot a_\phi}, \text{ рег./сут,} \quad (3.51)$$

где E_p^n – рабочая ёмкость поглощения катионита определяется по формуле:

$$E_p^n = \alpha_n \cdot \beta_{Na} \cdot E_{пол} - 0,5q_{отм} \cdot C_k, \text{ г экв/м}^3, \quad (3.52)$$

где α_n – коэффициент эффективности регенерации водород-катионита – по табл. 5 – 12 [5];

β_{Na} – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности по $[Ca^{2+}]$ и $[Mg^{2+}]$ за счет частичного задержания катионов $[Na^+]$ – по табл. 5 – 6 [5];

$q_{отм}$ – удельный расход воды на отмывку катионита – табл. 5 – 10 [5];

C_k – общее содержание в воде всех катионов, г экв/м³.

Расход 100 %-й серной кислоты на регенерацию водород-фильтра:

$$Q_k^p = \frac{q_k \cdot f_n \cdot H_{сл} \cdot E_p^n}{1000}, \text{ кг/рег.,} \quad (3.53)$$

где q_k – удельный расход кислоты на регенерацию катионита фильтра, г/г экв; принимается по графику (рис. 5 – 5, [5]) в зависимости от солесодержания исходной воды и требуемой жесткости фильтрата.

Суточный расход технической серой кислоты:

$$Q_{к.тех.}^{сут.} = \frac{Q_k^p \cdot n_p \cdot a_\phi \cdot 100}{C\%}. \quad (3.54)$$

Расход воды на регенерацию и время регенерации водород-катионитных фильтров определяется так же, как и при «голодном» режиме регенерации.

Расчет режима работы натрий-катионирования в рассматриваемой схеме проводится аналогично, как это же изложено выше.

В) Водород-катионирование в схемах частичного химического обессоливания.

В рассматриваемой схеме водород-катионитные фильтры в зависимости от требований к качеству обессоленной воды могут работать:

- до «проскока» катионов жесткости [Ca^{2+}] и [Mg^{2+}];
- с частичным удалением [Na^+] (частичное обессоливание);
- до «проскока» катиона [Na^+] (полное обессоливание).

В режиме до «проскока» жесткости водород-фильтр рассчитывается аналогично, как в предыдущей схеме.

Схема частичного химического обессоливания выбирается в зависимости от качества исходной воды согласно рекомендациям, изложенным в [5] и представленных на рис. 2 – 10 там же. Однако надо знать, что химическое обессоливание целесообразно лишь при солесодержании исходной воды до 800...1000 мг/л. При частичном химическом обессоливании, солесодержание исходной воды допустимо до 3000 мг/л.

Количество водород-фильтров и их диаметр устанавливаются аналогично тому, как и выше.

При частичном химическом обессоливании остаточное солесодержание обычно устанавливается потребителями обессоленной воды. При таком обессоливании в воде остаются из катионов только часть натрия, а из анионов – полностью кремневая кислота ($[SiO_3^{2-}]$) и уголекислота, остаточное содержание которой после декарбонизатора составляет 0,22 мг экв/л (5 мг/л CO_2), а после известкования – 0,5...0,7 мг экв/л ($[HCO_3^-]$); остаточные содержания хлоридов и сульфатов принимаются такими, чтобы суммарное содержание [Na^+], [SiO_3^{2-}], [CO_3^{2-}] и [SO_4^{2-}] не превышало заданного солесодержания.

Сульфаты в частично обессоленной воде обычно отсутствуют, они могут присутствовать только при очень незначительном содержании хлоридов в исходной воде, которые полностью остаются в ней, а сульфатов останется в

соответствии требованиям остаточного солесодержания частично обессоленной воды.

Остаточное содержание сульфатов и хлоридов по заданному солесодержанию обессоленной воды можно рассчитать из следующих соображений и по уравнениям:

– при наличии сульфатов в обессоленной воде $[SO_4^{2-}]_{ост.} > 0$:

$$[SO_4^{2-}]_{ост.} = \frac{S_{ч.об} - 61 \cdot [SiO_3^{2-}]_{ув} - 53[CO_3^{2-}]_{ов.} - 58,48 \cdot [Cl^-]_{ув}^{min}}{71,03}, \text{ мг экв/л, (3.55)}$$

– при отсутствии сульфатов в обессоленной воде

$$[Cl^-]_{ост} = \frac{S_{ч.об} - 61,0[SiO_3^{2-}] - 53,0[CO_3^{2-}]_{ов.}}{58,48}, \text{ мг экв/л. (3.56)}$$

Численные величины в уравнениях – это эквиваленты соответствующих натриевых соединений, значения которых в уравнения подставляют в мг экв/л.

Содержание натрия в частично обессоленной воде определяется из условия – сумма катионов равняется сумме анионов:

$$[Na^+]_{ост} = [SiO_3^{2-}]_{у.в.} + [CO_3^{2-}] + [Cl^-]_{ост.у.в.} + [SO_4^{2-}]_{ост.у.в.}, \text{ мг экв/л. (3.57)}$$

Количество катионов, удаляемых на водород-катионитных фильтрах:

$$A_k = 24 \cdot (\sum K^+ - Na_{ост}^+) \cdot Q_n, \text{ г экв/сут. (3.58)}$$

Рабочая обменная способность катионита при водород-катионировании определяется из уравнения:

$$E_p^H = \alpha_3 \cdot E_{пол}^H - 0,5q_{отм} \cdot (Ж_o + C_{Na}^{ув}), \text{ г экв/м}^3, \text{ (3.59)}$$

где α_3 – коэффициент эффективности регенерации, составляет 0,9...0,93;

$q_{отм}$ – удельный расход отмывочной воды, принимается по табл. 5.10 [5], м³/м³;

$C_{Na}^{ув}$ – концентрация натрия в обрабатываемой воде, г экв/м³.

Расход 100%-й серной кислоты на одну регенерацию водород-фильтра:

$$Q = \frac{q_k \cdot f_n \cdot H_{cl} \cdot E_p^n}{1000}, \text{ кг/рег.}, \quad (3.60)$$

где q_k – удельный расход кислоты, принимается по графику на рис. 5 – 6 [5] в зависимости от солесодержания исходной воды, г/г экв.

Расход технической кислоты определяется аналогично, как и выше. Таким же образом рассчитываются все остальные показатели.

3.3.6 Анионирование в схеме частичного химического обессоливания

На анионитных фильтрах (отрегенерированных щелочью) анионы кислот, образовавшиеся при водород-катионировании, задерживаются анионитом и в результате получается обессоленная вода. Реакции анионирования и регенерации анионита приведены в [5, с. 34].

Сильные минеральные кислоты (продукты водород-катионирования) удаляются на анионитных фильтрах, загруженных слабоосновным анионитом типа АН-31 (первая ступень анионирования), чем и достигается частичное химическое обессоливание.

Полное химическое обессоливание достигается установкой второго анионитного фильтра (вторая ступень), загруженного сильноосновным анионитом типа АВ-17, с помощью которого удаляются анионы кремниевой кислоты ($[\text{SiO}_3^{2-}]$) и анионы углекислоты ($[\text{HCO}_3^-]$), полностью не удалённые в декарбонизаторе.

В качестве регенерационной щелочи в данном случае принимаем едкий натр (NaOH). Технологические данные для расчета анионитных фильтров приведены в табл. 5 – 13 [5].

Предварительный выбор диаметра и количества анионитовых фильтров, как и водород-фильтров, осуществляется по ранее приведённой методике при использовании параметров из табл. 5 – 13 [5].

Количество анионов сильных кислот, удаляемых на анионитовых фильтрах, определяется по уравнению:

$$A_{ск} = 24 \cdot Q_A \cdot (C_{ск} - C_{ск}^{ост}), \text{ г экв/сут,} \quad (3.61)$$

где Q_A – производительность анионитовых фильтров, м³/ч; с учетом изложенного в п. 2.2;

$C_{ск}$ и $C_{ск}^{ост}$ – концентрация анионов сильных кислот в воде, соответственно поступающей на анионитовые фильтры и после этих фильтров, г экв/м³. Последние ранее рассчитаны: $([SO_4^{2-}]_{ост}$ или $[Cl^-]_{ост}$).

$C_{ск}$ Число регенераций анионитных фильтров в сутки:

$$n_P^A = \frac{A_{ск}}{f_a \cdot H_{сл} \cdot E_P^A \cdot a_\phi}, \text{ рег./сут.} \quad (3.62)$$

Рабочая обменная способность анионита:

$$E_P^A = \alpha_{\mathcal{A}}^A \cdot E_{пол.}^A - 0,8 \cdot q_{отм.} \cdot C_{ск}, \quad (3.63)$$

где $\alpha_{\mathcal{A}}^A$ – коэффициент эффективности регенерации анионита, зависящий от удельного расхода щелочи; при его расходе 60 г/г экв поглощенных сульфатов и хлоридов – $\alpha_{\mathcal{A}}^A = 0,8 \dots 0,9$;

$E_{пол.}^A$ – полная динамическая обменная способность анионита, г экв/м³; принимается по табл. 5 – 13 [5];

$E_{пол.}^A$ $q_{отм.}$ – удельный расход воды на отмывку анионита, м³/м³; принимается по табл. 5 – 13 [5].

Расход 100%-й щелочи NaOH на одну регенерацию анионитного фильтра:

$$Q_{щ}^A = \frac{q_{щ} \cdot f_a \cdot H_{сл} \cdot E_P^A}{1000}, \text{ кг/рег.,} \quad (3.64)$$

где $q_{щ}$ – удельный расход NaOH, г/г экв; принимается по табл. 5 – 13 [5].

Суточный расход технического 42%-го едкого натра, м³, в сутки:

$$Q_{и}^{сут} = \frac{Q_{и}^p \cdot n_p \cdot a_{\phi} \cdot 100}{1000 \cdot 42 \cdot \rho_{42\%}}, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (3.65)$$

Расход воды на регенерацию анионитного фильтра складывается из:

1) расхода воды на взрыхляющую промывку фильтра:

$$Q_{взр} = \frac{i_a \cdot f_a \cdot 60 \cdot \tau_{взр}}{1000}, \text{ м}^3/\text{рег.}, \quad (3.66)$$

где i_a и $\tau_{взр}$ – соответственно интенсивность и продолжительность взрыхления анионита принимаются по табл. 5 – 13 [5];

2) расхода воды на приготовление регенерационного раствора, щелочи:

$$Q_{p-p} = \frac{Q_{и}^p \cdot 100}{1000 \cdot \epsilon \cdot \rho_{p-p}}, \text{ м}^3/\text{рег.}, \quad (3.67)$$

где ϵ – концентрация едкого натра в регенерационном растворе, %; принимается по табл. 5 – 13 [5];

ρ_{p-p} – плотность регенерационного раствора, т/м³, принимается по табл. 15 – 9 [5];

3) расхода воды на отмывку анионита от продуктов регенерации, м³:

$$Q_{отм} = q_{отм} \cdot f_a \cdot H_{сл}, \text{ м}^3/\text{рег.}, \quad (3.68)$$

где $q_{отм}$ – удельный расход воды на отмывку анионита, м³/м³; принимается по табл. 5 – 13 [5].

Далее рассчитываются:

- общий расход воды на одну регенерацию анионитного фильтра без использования отмывочной воды и при использовании ($Q_{сн}^A$), её среднесуточный и среднечасовой расход, выразить расход воды на собственные нужды анионитовых фильтров в % по отношению к производительности этих фильтров;
- межрегенерационный период работы каждого фильтра, т/ч;
- время регенерации фильтра как по этапам, так и общее;
- количество одновременно регенерируемых анионитовых фильтров.

При расчетах значения необходимых параметров берутся из табл. 5 – 13 [5].

3.3.7 Декарбонизация водород-катионированной воды. Расчет декарбонизатора

Исходными данными для расчета декарбонизатора являются:

- количество и температура декарбонизируемой воды;
- содержание углекислоты до и после декарбонизатора.

Концентрацию растворенной углекислоты в воде, поступающей в декарбонизатор, при отсутствии аналитических данных определяют по формуле:

$$CO_2 = \frac{44 \cdot J_{\kappa} + CO_2^{уг}}{1000}, \text{ кг/м}^3, \quad (3.69)$$

где CO_2 – концентрация углекислоты в воде, поступающей в декарбонизатор, кг/м³;

J_{κ} – карбонатная жесткость исходной воды, разрушаемая в процессе водоподготовки, мг-экв /л;

$CO_2^{уг}$ – концентрация растворённой свободной углекислоты (равновесной) в исходной воде, мг/л. Последняя определяется по щелочности (карбонатной жесткости) и pH исходной воды по номограмме на рис. 5.9 [5] и методике, приведённой там же.

Необходимая поверхность десорбции (насадок Рашига), м^2 , которая должна обеспечить требуемый эффект десорбции (удаления CO_2), определяется по формуле:

$$F = \frac{G_{\text{CO}_2}}{K_{\text{жс}} \cdot \Delta C_{\text{ср}}}, \text{ м}^2, \quad (3.70)$$

где G_{CO_2} – количество удаляемой углекислоты в декарбонизаторе:

$$G_{\text{CO}_2} = Q_{\text{Д}} \cdot (\text{CO}_2 - \text{CO}_2^{\text{ов}}), \text{ кг/ч}, \quad (3.71)$$

где $Q_{\text{Д}}$ – количество воды, поступающей в декарбонизатор, $\text{м}^3/\text{ч}$;

CO_2 и $\text{CO}_2^{\text{ов}}$ – концентрация углекислоты в воде до и после декарбонизатора.

Последняя технологически принимается равной $0,005 \text{ кг/м}^3$ (5 мг/л);

$K_{\text{жс}}$ – коэффициент десорбции углекислоты, м/ч ; определяется по графику рис. 5 – 10 [5] по методике, изложенной в [5, с. 95];

$\Delta C_{\text{ср}}$ – средняя движущая сила десорбции, кг/м^3 ; определяется по рис. 5 – 11 [5] в зависимости от концентрации углекислоты в воде до и после декарбонизации.

Определив поверхность десорбции, определяют габариты декарбонизатора.

Площадь поперечного сечения декарбонизатора:

$$f_{\text{Д}} = \frac{Q_{\text{Д}}}{60}, \text{ м}^2, \quad (3.72)$$

где $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ – оптимальная плотность орошения насадки Рашига на единицу площади сечения декарбонизатора:

Диаметр декарбонизатора:

$$d = \sqrt{\frac{4f_{\text{Д}}}{\Pi}}, \text{ м}. \quad (3.73)$$

Высота слоя насадки:

$$h_{cl} = \frac{V_{кр}}{f_D}, \text{ м}, \quad (3.74)$$

где $V_{кр}$ – объём, м^3 , занимаемый кольцами Рашига 25x25x3 мм при беспорядочной загрузке в декарбонизаторе, определяется по формуле:

$$V_{кр} = \frac{F}{204}, \text{ м}^3, \quad (3.75)$$

где F – поверхность десорбции, м^2 , определённая ранее. Обычно $204 \text{ м}^2/\text{м}^3$ – поверхность 1 м^3 насадки Рашига при беспорядочной их загрузке.

Необходимый расход воздуха, подаваемого в декарбонизатор, определяется по формуле:

$$Q_{воз} = v \cdot Q_D, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.76)$$

где v – удельный расход воздуха при насадке из колец Рашига принимается: при умягчении – 25, а при обессоливании – 40 $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Суммарное сопротивление проходу воздуха через декарбонизатор определяется по формуле:

$$\sum \xi = 25 \cdot h + 40, \text{ мм вод. ст.}, \quad (3.77)$$

где 25 мм вод. ст. – сопротивление проходу воздуха 1 м высоты слоя насадки из колец Рашига 25x25x3 мм;

40 мм вод. ст. – сопротивление проходу воздуха конструктивных элементов декарбонизатора.

По необходимому расходу воздуха и требуемому напору, взятых на 10...15 % больше рассчитанных, выбрать дутьевой вентилятор.

Примерный календарный план выполнения СРС

Выдача задания – 4 неделя семестра.

Выполнение СРС – 4 – 11 недели семестра.

Проверка СРС – 12 неделя семестра.

Доработка СРС – 13 неделя семестра.

Защита СРС – 14 неделя семестра.

5. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТУДЕНТА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ СРС

Выполненная работа проверяется руководителем, который дает допуск к защите или возвращает ее на доработку. СРС, выполненная не по варианту, указанному в задании, не рассматривается. При положительном заключении работа допускается к защите, при наличии замечаний возвращается на доработку. При подготовке к защите СРС студент обязан повторить теоретический материал дисциплины и подготовить доклад по материалу работы. В докладе следует изложить сущность СРС, методы решения задач, наиболее важные результаты и выводы. После доклада студенту могут быть заданы вопросы как по содержанию СРС, так и по курсу в целом. Оценка СРС: зачтено или не зачтено. Основными факторами, влияющими на оценку работы, являются:

- уровень теоретической подготовки студента;
- качество оформления всех материалов СРС;
- подготовленность доклада и правильность ответов на вопросы при защите.

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Список основной литературы

1. Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике: учебное пособие: [16+]/Э. П. Гужулев, В. В. Шалай, В. И. Гриценко, М. А. Таран; Омский государственный технический университет. – Омск: Омский государственный технический университет (ОмГТУ), 2019. – 372 с. : ил., табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=682109>
2. Шачнева, Е. Ю. Водоподготовка и химия воды: учебно-методическое пособие для вузов / Е. Ю. Шачнева. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 104 с. — ISBN 978-5-8114-8005-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/171891>

Список дополнительной литературы

1. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок: пособие. – Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2009. – 192 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=57212>.
2. Химия воды и водоподготовка: учебное пособие / составители Г. А. Тихановская, Л. М. Воропай. — Вологда: ВоГУ, 2017. — 87 с. — Текст: электронный//Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/171290>
3. Стоянов, Н. И. Водоподготовка: курс лекций / Н. И. Стоянов, Е. И. Беляев, Й. Я. Куклите; Северо-Кавказский федеральный университет. – Ставрополь: Северо-Кавказский Федеральный университет (СКФУ), 2018. – 109 с.: схем, табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494813>

Приложение

Состав исходной воды по этапам ее очистки

[illegible]