

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Тепловые электрические станции»

В.А. Чиж
Н.Б. Карницкий

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ
ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Учебно-методическое пособие
для студентов дневной и заочной форм обучения
специальностей 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции»
и 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

Минск 2004

УДК 621.311.22:621.182.12(075.4)

ББК 31.37я7

Ч 59

Рецензенты:
И.И.Стриха, В.А.Седнин

Чиж В.А.

Ч 59 Водоподготовка и водно-химические режимы теплоэлектростанций: Учебно-метод. пособие для студ. дневной и заочной форм обучения спец. 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» и 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» / В.А.Чиж, Н.Б.Карницкий. – Мн.: БНТУ, 2004. – 100 с.

ISBN 985-479-098-3.

Настоящее учебно-методическое пособие по курсу «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС» предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения и состоит из двух частей. Первая часть («Водоподготовка») рассчитана на обучение по специальностям 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» и 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика».

Вторая часть («Водно-химические режимы ТЭС») предназначена для обучающихся по специальности 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции».

УДК 621.311.22:621.182.12(075.4)

ББК 31.37я7

ISBN 985-479-098-3

© Чиж В.А.,
Карницкий Н.Б., 2004

Содержание

Часть 1. ВОДОПОДГОТОВКА.	4
1.1. Темы и их содержание.	4
1.2. Перечень контрольных вопросов по водоподготовке.	7
1.3. Методические указания к решению контрольных задач.	11
1.4. Примеры решения и условия задач по теме «Классификация растворов».	11
1.5. Примеры решения и условия задач по теме «Показатели качества воды».	16
1.6. Лабораторные работы по 1-й части «Водоподготовка».	22
Часть 2. ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ТЭС.	39
2.1. Темы и их содержание.	39
2.2. Лабораторные работы по 2-й части «Водно-химические режимы ТЭС».	43
2.3. Курсовой проект по дисциплине «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС».	55
2.4. Специальное задание № 1. Водно-химический режим ТЭС.	77
2.5. Специальное задание № 2. Выбор и описание системы технического водоснабжения ТЭС.	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.	91
ПРИЛОЖЕНИЯ.	92

Часть 1. ВОДОПОДГОТОВКА

В первой части курса “Водоподготовка” представлены: содержание курса, перечень контрольных вопросов, методические материалы к решению контрольных задач, примеры решения и условия задач по темам «Классификация растворов» и «Показатели качества воды», лабораторные работы. В ней предусматривается выполнение контрольной работы, которая включает десять контрольных вопросов и семь задач. Ответы на контрольные вопросы должны быть четкими, полными и в случае необходимости поясняться схемами.

Выбор варианта задания производится по последней цифре шифра номера зачетной книжки. Задания, выполненные не по соответствующему шифру, не рассматриваются.

1.1. Темы и их содержание

Тема 1.1.1. Введение

Значение водоподготовки и водно-химических режимов (ВХР) ТЭС и котельных промышленных предприятий для обеспечения надежной и экономичной эксплуатации энергетического оборудования. Назначение воды на ТЭС. Требования к воде, используемой как технологическое сырьё для генерации пара, как теплоноситель в тепловых сетях и охладитель в конденсаторах паровых турбин. Назначение химводоподготовки на ТЭС и промышленных предприятиях. Типы и схемы ТЭС. Потери пара и конденсата на ТЭС, способы восполнения потерь. Источники загрязнения теплоносителя в пароводяных трактах ТЭС.

Тема 1.1.2. Примеси природных вод и показатели качества

Круговорот воды в природе. Классификация природных вод. Выбор и характеристика источника водоснабжения. Классификация примесей природных вод (по степени дисперсности, по химическому характеру, по ионному составу). Технологические показатели качества воды. Органолептические и санитарно-гигиенические показатели воды. Способы выражения концентрации растворов.

Тема 1.1.3. Предварительная очистка воды

Свойства коллоидных систем. Физико-химический процесс коагуляции. Характеристики и условия применения основных коагулянтов. Современные коагулянты. Факторы, влияющие на эффективность процесса коагуляции. Контактная и объёмная коагуляция. Электрокоагуляция.

Умягчение воды методами осаждения. Известкование, содоизвесткование, едконатровый метод. Способы магниезиального обескремнивания воды. Обезжелезивание подземных вод. Выбор типа предочистки. Изменение показателей качества исходной воды после различного типа предочисток.

Осветление воды фильтрованием. Фильтрование пленочное и адгезионное. Основы теории работы фильтрующего слоя. Фильтрующие материалы и их характеристики. Оборудование предочистки. Типы осветлительных фильтров. Эксплуатация осветлительного фильтра. Осветлители. Технологические схемы предочистки. Методика расчета осветлительных фильтров и осветлителя.

Тема 1.1.4. Обработка воды методами ионного обмена

Физико-химические основы процесса ионного обмена. Ионообменные материалы, их физические и химические характеристики. Марки ионитов, фирмы-производители. Эквивалентность и обратимость процесса обмена ионов. Селективность и селективные ряды для ионов. Обменная ёмкость ионитов (полная, до "проскока", рабочая).

Умягчение воды методом ионного обмена. Процессы водород- и натрий катионирования воды. Реакции, протекающие при умягчении воды и при регенерации катионита. Особенности регенерации и эксплуатации H- и Na-катионитных фильтров. Технологические схемы умягчения воды (двухступенчатое натрий-катионирование, параллельное и последовательное H-Na-катионирование, совместное H-Na-катионирование, катионирование в режиме "голодной" регенерации). Na-Cl-ионирование воды. Области их применения.

Химическое обессоливание воды. OH-ионирование воды. Реакции, протекающие при обессоливании воды и при регенерации анионита. Процесс совместного H-OH-ионирования воды. Технологические схемы обессоливания (упрощенная, двухступенчатая, трёхступенчатая) и области их применения. Качество воды, полу-

чаемой по этим схемам. Полный цикл работы ионитного фильтра. Регенерационные растворы и способы регенерации ионитных фильтров. Новые технологии ионного обмена (АПКОРЕ, ПУРОПАК, АМБЕРПАК). Конструкции ионитных фильтров. Основные мероприятия по повышению эффективности работы ионитных фильтров. Методика расчета ионитных фильтров.

Особенности конструкции фильтров смешанного действия (ФСД) и область их применения. Основы проектирования водоподготовительных установок (ВПУ). Выбор методов и схем подготовки добавочной воды. Способы компоновки ионитных фильтров в схемы (коллекторная и блочная). Основы автоматизации ВПУ.

Тема 1.1.5. Физические методы обработки воды

Классификация безреагентных способов очистки воды. Магнитная обработка воды. Условия эффективной обработки воды магнитным методом. Аппараты магнитной обработки воды. Области применения магнитного метода в теплоэнергетике.

Обработка воды ультразвуком. Применение данного метода в теплоэнергетике.

Мембранные методы обессоливания воды и их достоинства. Электродиализ, схема его процесса. Конструкции и характеристики электродиализных мембран. Электродиализаторы. Области применения электродиализа в теплоэнергетике.

Обратный осмос. Конструкции и характеристики обратноосмотических мембран. Обратноосмотические элементы и модули. Аппараты и установки обратного осмоса. Комбинированные ВПУ. Области применения установок обратного осмоса. Метод электродеионизации.

Тема 1.1.6. Термическое обессоливание воды

Типы испарительных установок (испарители кипящего типа, с вынесенной зоной кипения, испарители мгновенного вскипания). Требования к питательной воде для испарителей различного типа и схемы ее подготовки. Одно- и многоступенчатые установки. Паропреобразователи. Области применения испарительных установок. Основы расчета испарительных установок.

Тема 1.1.7. Удаление растворенных в воде газов

Краткая характеристика газов, растворенных в воде. Растворимость газов в воде. Закон Генри – Дальтона. Способы удаления растворенных газов. Кинетика десорбции газов. Конструкции декарбонизаторов. Термическая деаэрация. Классификация деаэраторов и их конструкции. Условия обеспечения эффективности термической деаэрации. Химическое обескислороживание и декарбонизация воды.

1.2. Перечень контрольных вопросов по водоподготовке

Ответить на 10 контрольных вопросов по варианту в соответствии с табл. 1.1. Например, для варианта 1 выполнить задания 1, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91.

Таблица 1.1

Последняя цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вопросы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

1. Значение водоподготовки и ВХР ТЭС для обеспечения надежной и экономичной эксплуатации оборудования.
2. Назначение воды на ТЭС.
3. Потери пара и конденсата в технологической схеме ТЭС, восполнение этих потерь.
4. Источники загрязнения теплоносителя в пароводяных трактах оборудования ТЭС.

5. Классификация природных вод.
6. Классификация примесей в природных водах по степени дисперсности, химическому и ионному составу.
7. Технологические показатели качества воды.
8. Органолептические и санитарно-гигиенические показатели воды.
9. Физико-химический процесс коагуляции.
10. Характеристики и условия применения основных коагулянтов.
11. Контактная и объемная коагуляция.
12. Электрокоагуляция.
13. Реагенты, применяемые для коагуляции воды.
14. Флокулянты и их назначение.
15. Выбор оптимальной дозы коагулянта.
16. Выбор типа предочистки.
17. Осветлители (конструкции и принцип действия).
18. Схема установки по предварительной обработке воды.
19. Изменение показателей качества воды после проведения коагуляции $Al_2(SO_4)_3$.
20. Изменение показателей качества воды после известкования и коагуляции $FeSO_4$.
21. Полный цикл работы осветлительного фильтра.
22. Типы и устройство осветлительных фильтров.
23. Требования к фильтрующим материалам осветлительных фильтров.
24. Умягчение воды методами осаждения.
25. Содоизвестковый метод умягчения воды.
26. Едконатровый метод умягчения воды.
27. Магнезиальное обескремнивание воды.
28. Осветление воды фильтрованием.
29. Фильтрование пленочное и адгезионное.
30. Порядок эксплуатации осветлительных фильтров.
31. Физико-химические основы ионного обмена.
32. Ионообменные материалы и их характеристики.
33. Эквивалентность и обратимость процесса ионного обмена.
34. Обменная емкость ионитов (статическая, полная, рабочая).
35. Умягчение воды методом ионного обмена.
36. Натрий-катионирование, характерные особенности качества натрий-катионированной воды.

37. Водород-катионирование, характерные особенности качества водород-катионированной воды.
38. Аммоний-катионирование, характерные особенности качества аммоний-катионированной воды.
39. Обессоливание воды методом ионного обмена.
40. ОН-ионирование воды.
41. Сl -онирование воды.
42. Na-Sl-ионирование воды.
43. Способы регенерации ионитов.
44. Регенерация Na-катионитных фильтров.
45. Регенерация H-катионитных фильтров.
46. Регенерация ОН-ионитных фильтров.
47. Особенности эксплуатации ионитных фильтров.
48. Основные технологические схемы умягчения воды.
49. Схема параллельного H-Na-катионирования.
50. Схема последовательного H-Na-катионирования.
51. Схема двухступенчатого Na-катионирования.
52. H-катионирование в режиме “голодной ” регенерации.
53. Область применения схем умягчения воды.
54. Технологические схемы обессоливания воды.
55. Схема упрощенного обессоливания и условия ее применения.
56. Схема двухступенчатого обессоливания и условия ее применения.
57. Схема трехступенчатого обессоливания и условия ее применения.
58. Выбор схемы обессоливания воды методами ионного обмена.
59. Типы и конструкции фильтров смешанного действия.
60. Пути повышения эффективности метода ионного обмена.
61. Полный цикл работы ионитного фильтра.
62. Магнитная обработка воды.
63. Условия эффективной обработки воды магнитным методом.
64. Области применения омагниченной воды в теплоэнергетике.
65. Обработка воды ультразвуком.
66. Мембранные методы обработки воды и области их применения.
67. Достоинства мембранных методов обработки воды.
68. Электродиализ.
69. Электродиализные мембраны и установки.
70. Обратный осмос.

71. Обратносмотические мембраны и элементы.
72. Аппараты и установки обратного осмоса.
73. Антикоррозионные покрытия оборудования водоподготовительных установок.
74. Термическое обессоливание воды.
75. Типы испарительных установок и требования к питательной воде испарителя.
76. Испарители кипящего типа.
77. Испарители мгновенного вскипания.
78. Основные факторы, влияющие на унос влаги с паром.
79. Устройства, применяемые для очистки вторичного пара испарителей.
80. Подготовка питательной воды для испарителей.
81. Паропреобразователи.
82. Способы удаления из воды растворенных газов.
83. Растворимость газов в воде. Закон Генри – Дальтона.
84. Конструкции и назначение декарбонизаторов.
85. Термическая деаэрация воды.
86. Классификация деаэраторов и их конструкций.
87. Условия эффективной деаэрации воды.
88. Химическая дегазация воды.
89. Амминирование питательной воды.
90. Обработка питательной воды гидразином.
91. Правила техники безопасности при обращении с кислотами.
92. Правила техники безопасности при обращении со щелочами.
93. Правила техники безопасности при работе с ядовитыми веществами.
94. Правила техники безопасности при обращении с легковоспламеняющимися веществами.
95. Доставка, слив и хранение кислот и щелочей.
96. Общие указания по технике безопасности при работе с оборудованием водоподготовительных установок.
97. Выбор источника водоснабжения ТЭС.
98. Определение производительности водоподготовительной установки (ВПУ).
99. Способы выражения концентраций растворов.
100. Коллекторная и блочная (цепочки) схемы компоновки ВПУ.

1.3. Методические указания к решению контрольных задач

Контрольная работа включает задачи по следующим темам: “Классификация растворов”, “Показатели качества воды”.

1.3.1. Классификация растворов

Концентрацию приблизительных растворов большей частью выражают в массовых или объемных процентах; точных – в молях, в грамм-эквивалентах, содержащихся в одном литре раствора, или в титрах.

При выражении концентрации в массовых процентах указывают содержание растворенного вещества (в граммах) в 100 г раствора (но не в 100 мл раствора!).

Раствор, содержащий в 1 литре один моль растворенного вещества называется молярным, а концентрация этого раствора – молярностью.

Молем (грамм-молекулой) вещества называют его молекулярную массу (молекулярный вес), выраженную в граммах.

Если концентрация выражена числом грамм-эквивалентов, содержащихся в 1 литре раствора, то такую концентрацию называют нормальностью, а раствор – нормальным.

Грамм-эквивалентом вещества является такое его количество (выраженное в граммах), которое в данной реакции соединяется, вытесняет или эквивалентно 1,008 г водорода. Грамм-эквивалент одного и того же вещества может иметь различную величину в зависимости от химической реакции, в которой это вещество участвует, и равен молекулярной массе вещества, деленной на его валентность.

1.4. Примеры решения и условия задач по теме “Классификация растворов”

Примеры

Пример 1. Имеется 10%-й раствор поваренной соли NaCl. Это значит, что в 100 г раствора содержится 10 г поваренной соли и 90 г воды.

Пример 2. Когда известна концентрация раствора, выраженная в массовых процентах (например, 25%-й раствор NaCl) и необходимо

взять столько раствора, чтобы в нем содержалось 5 г растворенного NaCl, то нужно брать раствор по массе (т.е. 20 г.). В том случае если мы ошибочно возьмем не 20 г, а 20 мл 25%-го раствора NaCl (плотность которого равна 1,203 г/мл), то получим 24,06 г ($20 \cdot 1,203$), а в этом количестве раствора содержится не 5 г NaCl, а 6,01 г ($25 \cdot 24,06 : 100$).

Если известна плотность раствора, то для решения этой задачи раствор удобнее брать по объему, а не по массе. Для вычисления нужного объема пользуются формулой

$$V = \frac{M}{\rho}, \quad (1.1)$$

где V – объем раствора, мл;

ρ – плотность раствора, г/мл; (значения плотности растворов приведены в табл. 1.2);

M – масса раствора, г;

Для ранее рассмотренного примера получен объем, равный:

$$V = \frac{20}{1,203} = 16,6 \text{ мл},$$

который и будет содержать 5 г NaCl.

Таблица 1.2

Концентрация, %	5	10	20	30	40	50
Раствор NaCl	1,034	1,067	1,130	$\rho^{25}=1,190$	–	–
HCl	1,023	1,028	1,098	1,148	1,198	–
H ₂ SO ₄	1,031	1,066	1,139	1,219	1,303	1,395
NaOH	1,054	1,109	1,208	1,328	1,430	1,525
FeCl ₃	1,041	1,085	1,182	1,292	–	–
FeSO ₄	1,047	1,100	1,213	–	–	–
Al ₂ (SO ₄) ₃	1,050	1,0105	1,226	$\rho^{28}=1,333$	–	–
Ca(OH) ₂	1,042	1,087	1,185	1,295	–	–
Na ₃ PO ₄	1,051	–	–	–	–	–
Na ₂ CO ₃	1,060	1,103	1,208	1,327	–	–

Пример 3. Требуется приготовить 1,5 кг 15%-го раствора NaCl. Согласно определению процентного раствора в 100 г 15%-го раствора содержится 15 г соли. Следовательно, необходимо определить, сколько ее потребуется для приготовления 1500 г раствора.

Решение. Составим пропорцию:

$$\begin{array}{l} 100 - 15 \text{ г NaCl,} \\ 1500 - x \text{ г NaCl,} \\ x = \frac{15 \cdot 1500}{100} = 225 \text{ г NaCl.} \end{array}$$

Расчет показывает, что для приготовления раствора заданной концентрации нужно взвесить 225 г NaCl и растворить ее в $(1500 - 225)$ 1275 г воды.

Пример 4. Если необходимо приготовить 1,5 л 15%-го раствора NaCl, то в данном случае по справочнику узнают его плотность ($\rho^{15\%} = 1,184 \text{ г/см}^3$), умножают на заданный объем (1,5 л) и таким образом находят массу требуемого количества раствора: $1500 \cdot 1,184 = 1776 \text{ г}$. Далее решение как в примере 3.

$$\begin{array}{l} 100 - 15 \text{ г NaCl,} \\ 1776 - x \text{ г NaCl,} \\ x = \frac{15 \cdot 1776}{100} = 266,4 \text{ г NaCl.} \end{array}$$

Следовательно, количество NaCl для приготовления 1,5 кг и 1,5 л 15%-го раствора различно.

Для приготовления раствора из водной соли, например $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$, расчет несколько изменится, так как нужно принимать во внимание и кристаллизационную воду.

Пример 5. Необходимо приготовить 2 кг 10%-го раствора Na_2SO_4 на основе $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Молекулярная масса $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 142,041 \text{ г}$, а $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} = 322,195 \text{ г}$.

Решение. Вначале расчет ведут на безводную соль, составляя пропорцию как в примере 3:

$$100 - 10 \text{ г Na}_2\text{SO}_4,$$

$$2000 - x \text{ г Na}_2\text{SO}_4,$$

$$x = \frac{10 \cdot 2000}{100} = 200 \text{ г Na}_2\text{SO}_4.$$

Количество десятиводной соли находим из пропорции:

$$142,04 - 322,3 \text{ г Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O},$$

$$200 - x \text{ г Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O},$$

$$x = \frac{200 \cdot 322,2}{142,04} = 453,7 \text{ г Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}.$$

Полученное количество $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ необходимо растворить в $(2000 - 453,7)$ 1546,3 г воды.

Пример 6. Необходимо приготовить 1 л молярного раствора азотно-кислого серебра.

Решение. Определяем молекулярную массу AgNO_3 :

$$M = 107,868 + 14,006 + 16 \cdot 3 = 169,875 \text{ г}.$$

Соль отвешивают и растворяют в воде, общий объем раствора 1 л.

Пример 7. Следует приготовить 0,1 н раствора H_2SO_4 .

Определяем эквивалент H_2SO_4 :

$$Э^{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,008 \cdot 2 + 32,066 + 16 \cdot 4 = 98,078 : 2 = 49,039 \text{ г}.$$

Следовательно, в 1 л раствора должно содержаться 4,9039 г 100%-й серной кислоты.

Концентрация кислоты 95,6 %, ее плотность равна 1,84 г/мл. Для приготовления 0,1 н раствора нужно взять следующее ее количество:

$$100 - 95,6 \text{ г H}_2\text{SO}_4,$$

$$x - 4,9039 \text{ г H}_2\text{SO}_4,$$

$$x = \frac{100 \cdot 4,9039}{95,6} = 5,1296 \text{ г}.$$

Используя зависимость (1.1), при плотности кислоты 1,84 г/мл объем составит

$$5,1296 : 1,84 = 2,79 \text{ мл.}$$

Данное количество кислоты должно содержаться в 1 л 0,1 н раствора. Для быстрого приготовления точных растворов кислот, щелочей и солей удобно применять фиксоналы. Это заранее приготовленные, содержащиеся в запаянных стеклянных или пластиковых ампулах, точно отмеренные количества реактива, необходимые для приготовления 1 л 0,1 н или 0,001 н раствора.

Условия задач по теме “Классификация растворов”

Задача 1. Имеется раствор концентрации a , %. Сколько миллилитров данного раствора необходимо взять, чтобы в этом объеме содержалось b (г) вещества?

Варианты выбираются из табл. 1.3 по последней цифре шифра.

Таблица 1.3

Условия задач	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	NaCl	HCl	H ₂ SO ₄	NaOH	FeCl ₃	FeSO ₄	Al ₂ (SO ₄) ₃	Ca(OH) ₂	Na ₃ PO ₄	Na ₂ CO ₃
a , %	10	30	40	10	20	30	20	50	50	30
b , г	5	10	15	4	10	8	10	25	20	12

Задача 2. Какое количество раствора концентрации b (%) необходимо взять для приготовления 1 л раствора концентрации a ?

Варианты представлены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Условия задач	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	NaCl	HCl	H ₂ SO ₄	NaOH	FeCl ₃	FeSO ₄	Al ₂ (SO ₄) ₃	Ca(OH) ₂	Na ₃ PO ₄	Na ₂ CO ₃
a , г	1 н	1 м	0,1 н	0,1 м	1 н	1 м	1 н	1 м	0,1 н	0,1 м
b , %	95,6	95,6	50	50	75	75	50	50	75	75

Задача 3. Приготовить растворы, содержащие щелочные соединения следующих концентраций, мг-экв/кг.

Варианты заданы в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Щелочные соединения, мг-экв/кг	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NaOH	2	–	3	5	4	1	–	–	3	4
H ₂ CO ₃	3	4	1	–	2	4	2	5	2	4
NaHCO ₃	1	2	–	2	–	1	4	1	1	–
V, л	3	2	4	1	2,5	5	2	4	3	1,5

**1.5. Примеры решения и условия задач по теме
«Показатели качества воды»**

1.5.1. Жесткость

Жесткостью называется суммарное количество содержащихся в воде катионов кальция Ca²⁺ и магния Mg²⁺, выраженное в мг-экв/кг (мг-экв/л) для исходной необработанной воды и в мкг-экв/кг (мкг-экв/л) – для измерения малых значений жесткости (конденсат, дистиллят, питательная вода паровых котлов, катионированная вода после H- и Na-катионитных фильтров).

По отношению между общей жесткостью воды J_0 и концентрацией в ней бикарбонатных ионов HCO₃⁻ природные воды можно разделить на две группы: для первой $J_0 \geq C_{\text{HCO}_3^-}$, для второй $J_0 \leq C_{\text{HCO}_3^-}$.

В водах первой группы различают жесткость общую J_0 , жесткость карбонатную $J_k = C_{\text{HCO}_3^-}$, некарбонатную $J_{\text{нк}}$, кальциевую J_{Ca} , магниевую J_{Mg} .

$$J_0 = J_k + J_{\text{нк}} = J_{\text{Ca}} + J_{\text{Mg}}$$

Для вод второй группы, называемых щелочными, понятие карбонатной и некарбонатной жесткости теряет смысл, так как $C_{\text{HCO}_3^-} > \mathcal{J}_0$. Для этих вод различают жесткость общую \mathcal{J}_0 , кальциевую \mathcal{J}_{Ca} , магниевую \mathcal{J}_{Mg} . Мягкие воды (конденсат, дистиллят и др.) обладают лишь общей или остаточной жесткостью.

П р и м е р ы

Пример 1. Определить достоверность анализа исходной воды при следующих данных:

$$\mathcal{J}_0 = 4,45 \text{ мг-экв/кг}; \mathcal{J}_{\text{Ca}} = 0; C_{\text{Mg}} = 70 \text{ мг/кг}.$$

Решение. Для определения магниевой жесткости в мг-экв/кг необходимо найти значение эквивалента магния:

$$\mathcal{E}_{\text{Mg}} = \frac{M}{n} = \frac{24}{2} = 12 \text{ экв.}$$

Следовательно, магниевая жесткость будет равна:

$$\mathcal{J}_{\text{Mg}} = \frac{C_{\text{Mg}}}{\mathcal{E}} = \frac{70}{12} = 5,83 \text{ мг-экв/кг}.$$

$$\mathcal{J}_0 = \mathcal{J}_{\text{Ca}} + \mathcal{J}_{\text{Mg}} = 0 + 5,83 = 5,83 > 4,45 \text{ мг-экв/кг}.$$

О т в е т. Анализ недостоверен.

Пример 2. В 2 л дистиллированной воды растворено в мг-экв: $\text{CaCl}_2 - 2$; $\text{MgSO}_4 - 1,5$; $\text{Na}_2\text{SO}_4 - 0,7$; $\text{NaCl} - 1,2$.

Определить виды жесткостей в данном растворе.

Решение. Из определения жесткости следует, что

$$\mathcal{J}_{\text{Ca}} = \frac{2 \text{ мг экв}}{2 \text{ л}} = 1 \text{ мг-экв/л},$$

$$\mathcal{J}_{\text{Mg}} = \frac{1,5 \text{ мг экв}}{2 \text{ л}} = 0,75 \text{ мг-экв/л},$$

$$Ж_0 = Ж_{Ca} + Ж_{Mg} = 1 + 0,75 = 1,75 \text{ мг-экв/л.}$$

О т в е т: натриевые соли Na_2SO_4 и $NaCl$ к солям жесткости не относятся. Следовательно $Ж_0 = 1,75$ мг-экв/л; $Ж_{Ca} = 1$ мг-экв/л; $Ж_{Mg} = 0,75$ мг-экв/л.

Задачи

Задача 1. Качество исходной воды характеризуется показателями в мг-экв/кг, приведенными в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вид жесткости										
Общая жесткость $Ж_0$	6,0	4,0	3,6	5	5,6	4,5	3,0	3,3	3,8	4,2
Некарбонатная жесткость $Ж_{нк}$	2,5	1,3	1,	0,2	1,6	2,5	0,8	1,4	1,2	0,8
Отношение $Ж_0/Ж_{Mg}$	2	4	3	2,5	4	5	6	3	2	2,5

Определить: $Ж_{Ca}$; $Ж_{Mg}$; $Ж_к$.

Задача 2. Определить достоверность полученного анализа сырой воды. $Ж_0$ – мг-экв/кг; $Ж_{Ca}$ – мг-экв/кг; Ca^{2+} – мг/кг; Mg^{2+} – мг/кг (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сырая вода										
Общая жесткость $Ж_0$	3,5	5	4,2	3,5	5	3,6	4	3	4,8	2,8
Кальциевая $Ж_{Ca}$	2	2,5	3	3	4	3,1	2,4	1,5	3,4	1,8
Концентрация катионов Ca^{2+}	40	65	60	60	80	62	48	30	90	36
Концентрация катионов Mg^{2+}	24	36	28	6	12	10	19,2	18	28	12

1.5.2. Щелочность

Щелочностью воды называют суммарное содержание в ней анионов слабых кислот HCO_3^- ; CO_3^{2-} ; HSiO_3^- ; SiO_3^{2-} ; H_2PO_4^- ; HPO_4^{2-} ; PO_4^{3-} , а также иона OH^- .

В природных водах щелочность обычно вызывается наличием в них ионов HCO_3^- ; SiO_3^{2-} ; реже CO_3^{2-} , а также присутствием гуматов.

В щелочных и котловых водах кроме перечисленных веществ щелочность обуславливается также присутствием ионов PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} и ионов OH^- .

Различают щелочность по метилоранжу $\text{Щ}_{\text{МО}}$, называемую также общей щелочностью, и щелочность по фенолфталеину $\text{Щ}_{\text{ФФ}}$.

Между этими величинами имеются различные соотношения в зависимости от характера щелочности.

Например, если анализировать раствор едкого натра, то $\text{Щ}_{\text{МО}} = \text{Щ}_{\text{ФФ}}$; если раствор соды, то $\text{Щ}_{\text{ФФ}} = 0,5\text{Щ}_{\text{МО}}$; если раствор содержит только бикарбонаты (HCO_3^-), то $\text{Щ}_{\text{ФФ}} = 0$ и т.д.

Зная соотношение между $\text{Щ}_{\text{ФФ}}$ и $\text{Щ}_{\text{МО}}$, можно определить, какими именно соединениями обусловлена щелочность водного раствора. Однако часто для решения этой задачи необходимо знать концентрацию ионов SiO_3^{2-} , или HSiO_3^- , содержание гуматов, фосфатов и др.

Если в воде из щелочных соединений присутствуют только гидраты (NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$), карбонаты (Na_2CO_3 , CaCO_3 , MgCO_3), бикарбонаты (NaHCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$), то используя данные табл. 1.8, можно вычислить значения $\text{Щ}_{\text{Г}}$, $\text{Щ}_{\text{К}}$ и $\text{Щ}_{\text{БК}}$, исходя из значений $\text{Щ}_{\text{ФФ}}$ и $\text{Щ}_{\text{МО}}$.

Таблица 1.8

Соотношение между $\text{Щ}_{\text{ФФ}}$ и $\text{Щ}_{\text{МО}}$	$\text{Щ}_{\text{Г}}$ (OH^-)	$\text{Щ}_{\text{К}}$ (CO_3^{2-})	$\text{Щ}_{\text{БК}}$ (HCO_3^-)
$\text{Щ}_{\text{ФФ}} > 0,5\text{Щ}_{\text{МО}}$	$2\text{Щ}_{\text{ФФ}} - \text{Щ}_{\text{МО}}$	$2(\text{Щ}_{\text{МО}} - \text{Щ}_{\text{ФФ}})$	Нет
$\text{Щ}_{\text{ФФ}} = 0,5\text{Щ}_{\text{МО}}$	Нет	$\text{Щ}_{\text{МО}} = 2\text{Щ}_{\text{ФФ}}$	Нет
$\text{Щ}_{\text{ФФ}} < 0,5\text{Щ}_{\text{МО}}$	Нет	$2\text{Щ}_{\text{ФФ}}$	$\text{Щ}_{\text{МО}} - 2\text{Щ}_{\text{ФФ}}$
$\text{Щ}_{\text{ФФ}} = \text{Щ}_{\text{МО}}$	$\text{Щ}_{\text{ФФ}} = \text{Щ}_{\text{МО}}$	Нет	Нет

Примеры

Пример 1. Найти соединения, присутствующие в растворе, щелочность и жесткость которого определяется следующими значениями:

$$\mathit{Щ}_{\text{мо}} = 0,6 \text{ мг-экв/л}; \mathit{Щ}_{\text{фф}} = 0,3 \text{ мг-экв/кг}, \mathit{Ж}_0 = 0.$$

Решение. Используя данные табл. 1.8, определим отдельные виды щелочности. Так как $\mathit{Щ}_{\text{фф}} = 0,5\mathit{Щ}_{\text{мо}}$, то в растворе отсутствует гидратная и бикарбонатная щелочность. Карбонатная щелочность равна:

$$\mathit{Щ}_{\text{к}} = \mathit{Щ}_{\text{мо}} = 2\mathit{Щ}_{\text{фф}} = 0,6 \text{ мг-экв/кг}.$$

О т в е т. Так как жесткость раствора равна нулю, то единственным соединением, определяющим карбонатную щелочность, будет Na_2CO_3 .

Пример 2. Жесткость обработанной воды равна 350 мкг-экв/л, а щелочность 1,6 мг-экв/л. Определить значение избыточной щелочности и состав общей щелочности, если $\mathit{Щ}_{\text{фф}} = 0,95$ мг-экв/л, $\mathit{Щ}_{\text{мо}} = 1,6$ мг-экв/л.

Решение. $\mathit{Ж}_0 = 350 \text{ мкг-экв/кг} = 0,35 \text{ мг-экв/кг}$

$$\mathit{Щ}_{\text{изб}} = \mathit{Щ}_0 - \mathit{Ж}_0 = 1,6 - 0,35 = 1,25 \text{ мг-экв/кг}.$$

Далее (см. табл.1.8) если $\mathit{Щ}_{\text{фф}} > 0,5\mathit{Щ}_{\text{мо}}$, ($0,95 > 0,5 \cdot 1,25$), то следовательно:

$$\mathit{Щ}_{\text{г}} = 2\mathit{Щ}_{\text{фф}} - \mathit{Щ}_{\text{мо}} = 2 \cdot 0,95 - 1,6 = 0,3 \text{ мг-экв/л},$$

$$\mathit{Щ}_{\text{к}} = 2(\mathit{Щ}_{\text{мо}} - \mathit{Щ}_{\text{фф}}) = 2 \cdot (1,6 - 0,95) = 1,3 \text{ мг-экв/л},$$

$$\mathit{Щ}_{\text{бк}} = 0.$$

О т в е т. Гидратная щелочность $\mathit{Щ}_{\text{г}} = 0,3$ мг-экв/л, карбонатная щелочность $\mathit{Щ}_{\text{к}} = 1,3$ мг-экв/л, бикарбонатная щелочность $\mathit{Щ}_{\text{бк}} = 0$.

Пример 3. Требуется приготовить 3 л раствора, щелочность которого $Ш_{\text{к}} = 3$ мг-экв/л, $Ш_{\text{бк}} = 2$ мг-экв/л. Определить количество карбоната и бикарбоната натрия (Na_2CO_3 и NaHCO_3), которые необходимо растворить в указанном объеме.

Решение. Необходимо определить эквиваленты Na_2CO_3 и NaHCO_3 .

$$\mathcal{E}_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = (23 \cdot 2 + 12 + 48)/2 = 53 \text{ экв},$$

$$\mathcal{E}_{\text{Na}_2\text{HCO}_3} = (23 + 1 + 12 + 48)/1 = 84 \text{ экв}.$$

Далее определяем концентрацию NaHCO_3 и Na_2CO_3 в 1 л раствора:

$$C_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 3 \text{ мг-экв/л} \cdot 53 = 159 \text{ мг/л},$$

$$C_{\text{Na}_2\text{HCO}_3} = 2 \text{ мг-экв/л} \cdot 84 = 168 \text{ мг/л}.$$

Следовательно, для приготовления 3 л раствора необходимо взять

$$159 \text{ мг/л} \cdot 3 = 477 \text{ мг } \text{Na}_2\text{CO}_3,$$

$$168 \text{ мг/л} \cdot 3 = 504 \text{ мг } \text{NaHCO}_3.$$

О т в е т. В 3 л раствора будет содержаться 477 мг Na_2CO_3 и 504 мг NaHCO_3 .

Задача 1. Найти соединения, присутствующие в растворе, щелочность и жесткость которого определяется значениями, приведенными в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Ш_{\text{мо}}$, мг-экв/л	0,5	0,8	0,8	1,0	0,8	0,6	1,2	1,4	1,0	1,2
$Ш_{\text{фф}}$, мг-экв/л	0,5	0,4	0,5	0,6	0,2	0,4	0,6	0,4	0,2	0,4
$Ж_{\text{о}}$, мг-экв/л	0,5	0,8	0	1,0	0	0,2	0,1	0,5	0,3	0,4

Задача 2. Жесткость обработанной воды равна a , мкг-экв/л, а щелочность – b , мг-экв/л. Определить значение избыточной щелочности и состав общей щелочности, если $Щ_{\text{фф}} = c$, мг-экв/л, а $Щ_{\text{мо}} = d$ мг-экв/л (табл. 1.10).

Таблица 1.10

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a , мкг-экв/л	500	120	480	360	240	450	250	300	450	400
b , мг-экв/л	1,5	0,8	2,0	1,8	1,0	2,2	1,4	2,8	3,0	2,6
c , мг-экв/л	0,5	0,4	0,8	1,0	0,8	0,6	1,2	1,4	1,0	1,2
d , мг-экв/л	0,5	0,8	0,5	0,6	0,2	0,4	0,6	0,4	0,2	0,4

Задача 3. Требуется приготовить a л раствора, щелочность которого $Щ_{\text{к}} = b$, $Щ_{\text{бк}} = c$, $Щ_{\text{г}} = d$ мг-экв/л (табл. 1.11).

Таблица 1.11

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a , л	1,5	2	2,5	3	1	3,5	5	4,5	4,0	3
b , мг-экв/л	2,0	3,0	2,5	2,0	2,8	1,4	1,8	2,2	3,2	2,5
c , мг-экв/л	2,5	2	2	3,5	1,2	2,1	0,9	1,6	2,0	0,6
d , мкг-экв/л	1	1,5	1,5	2,0	1,8	0,4	0,9	1,3	0,5	1,2

1.6. Лабораторные работы по 1-й части «Водоподготовка»

Лабораторные работы проводятся в целях закрепления и углубления знаний, полученных при изучении теоретического курса “Водоподготовка”, и включают работы по определению основных показателей качества воды и способов ее обработки.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУХОГО ОСТАТКА ВОДЫ

Общие сведения. Сухим остатком называется суммарное количество растворенных в воде нелетучих молекулярно-дисперсных и коллоидных веществ минерального и органического происхождения, выраженное в мг/кг. В сухой остаток не входят взвешенные вещества, растворенные в воде газы и летучие вещества (например, H_2CO_3 , NH_3 и др.). Если сухой остаток прокалить при 800°C , то масса его уменьшится и получится прокаленный остаток. Уменьшение массы получается вследствие сгорания органических веществ, разложения карбонатов и удаления остатков влаги.

Минеральным остатком называется сумма концентраций всех содержащихся в воде катионов, анионов и полуторных окислов $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Плотным называется остаток, получающийся при упаривании нефильтованной воды, содержащей также и грубодисперсные примеси.

Выполнение работы. Для определения сухого остатка в чистой, прокаленной и взвешенной платиновой или фарфоровой чашке выпаривают определенный объем воды, а полученный остаток высушивают при $105 - 110^\circ\text{C}$ до постоянного веса. Чашка с сухим остатком должна выдерживаться в эксикаторе для охлаждения не менее 20 мин, после чего ее взвешивают.

Вычисление результатов. Если вес в граммах пустой чашки обозначить через A , вес чашки с высушенным сухим остатком – через B , то величина сухого остатка может быть вычислена по формуле

$$\text{Сухой остаток} = 1000000/V(B - A), \text{ мг/кг,}$$

где V – объем воды, подвергнутой выпариванию, мл.

1000000 получается в случае необходимости перевода граммов (A и B) в миллиграммы и пересчета определяемой величины на 1 кг воды.

Результаты определений свести в табл. 1.12.

Таблица 1.12

A , г	B , г	V , мл	Сухой остаток

Проанализировать полученные результаты.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ ВОДЫ

Общие сведения. Кислотность воды возникает при Н-катионировании; этот процесс сводится к обмену всех катионов, содержащихся в воде, на ионы водорода. Поэтому кислотность Н-катионированной воды обусловлена как сильными (HCl, H₂SO₄, HNO₃), так и слабыми (H₂CO₃, H₂SiO₃) кислотами. При контроле кислотности Н-катионированной воды определяют только концентрацию сильных кислот, титрующихся щелочью по индикатору метилоранжу.

Необходимые реактивы. Растворы щелочи 0,1н и 0,01н концентрации. Индикаторы: 0,1%-й водный раствор метилоранжа; смешанный: 0,125 г метилрога в 50 мл спирта и 0,085 г метиленового голубого в 50 мл спирта.

Выполнение работы. В коническую емкость 250 – 300 мл отбирают мерным цилиндром 100 мл анализируемой воды, добавляют две капли раствора метилоранжа и титруют окрашенную в розовый цвет жидкость 0,1н раствором щелочи до чисто желтого цвета (сравнивают с образцом, в качестве которого служит раствор, содержащий 100 мл дистиллированной воды, 1 мл – 0,1н раствора щелочи и две капли метилоранжа). Если кислотность меньше 0,5 мг-экв/кг, то пробу титруют 0,01н раствором щелочи. При этом можно применять смешанный индикатор.

Вычисление результатов. Кислотность, как и щелочность, выражают обычно в миллиграмм-эквивалентах на килограмм. Формула расчета следующая:

$$A = a \cdot N \cdot 1000 \cdot k/V,$$

где A – величина кислотности, мг-экв/кг;

a – расход щелочи на титрование, мл;

N – нормальность раствора щелочи;

k – поправочный коэффициент нормальности;

V – объем воды, взятый на анализ, мл.

Если титрование выполнялось точно 0,1н раствором щелочи при $k = 1$, а для анализа было взято 100 мл воды, то $A = a$.

Результаты определений свести в табл. 1.13.

Анализируемая вода	Кислотность воды в мг-экв/кг
1-я проба	$A_1 =$
2-я проба	$A_2 =$

Проанализировать полученные результаты.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЩЕЛОЧНОСТИ ВОДЫ

Общие сведения. Общей щелочностью воды $Щ_0$ называется выраженная в мг-экв/кг или мкг-экв/кг суммарная концентрация содержащихся в воде анионов OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , HSiO_3^- , SiO_3^{2-} и некоторых слабых органических кислот (гуматов). Так как все перечисленные вещества взаимодействуют с кислотой, то общая щелочность воды определяется количеством кислоты, затраченной на титрование в присутствии индикатора метилоранжа. В зависимости от типа анионов, обуславливающих щелочность, различают бикарбонатную щелочность $Щ_{\text{бк}}$ (HCO_3^-), карбонатную $Щ_{\text{к}}$ (CO_3^{2-}), силикатную $Щ_{\text{с}}$ (HSiO_3^- , SiO_3^{2-}), гидратную $Щ_{\text{г}}$ (OH^-), фосфатную $Щ_{\text{ф}}$ (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}):

$$Щ_0 = Щ_{\text{бк}} + Щ_{\text{к}} + Щ_{\text{с}} + Щ_{\text{ф}} + Щ_{\text{г}}.$$

В большинстве природных вод концентрация бикарбонат-иона преобладает над концентрацией других анионов слабых кислот, поэтому общая щелочность обычно численно совпадает с концентрацией бикарбонатов, выраженной в единицах мг-экв/кг.

Необходимые реактивы. Раствор соляной или серной кислот 0,1н или 0,01н концентрации. Индикаторы: 1%-й спиртовой раствор фенолфталеина (для определения гидратной щелочности) и 0,1%-й раствор метилоранжа. Для выполнения титрования при искусственном освещении удобно пользоваться смешанным индикатором.

Щелочные компоненты различных вод представлены в табл. 1.14.

Т а б л и ц а 1.14

Воды	Компоненты щелочности
Природная	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$; гуматы, реже NaHCO_3
Na-катионированная	NaHCO_3 ; гуматы
Питательная	NaHCO_3 ; Na_2CO_3 ; NaOH ; Na_3PO_4 и другие фосфаты; NH_3 ; N_2H_4 и гуматы
Котловая	NaOH ; Na_3PO_4 ; Na_2CO_3 ; Na_2SiO_3 ; гуматы
Конденсат пара	NH_3 ; N_2H_4 ; NaHCO_3 ; соли органических летучих кислот
Конденсат турбин	NH_3 ; $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$; $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; NaHCO_3
Известкованная	$\text{Ca}(\text{OH})_2$; CaCO_3 ; гуматы; иногда $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$

Выполнение работы. Для определения щелочности анализируемая вода должна быть предварительно освобождена от взвешенных веществ фильтрованием. Титрование щелочности котловых, умягченных и природных вод ведут 0,1н раствором кислоты; 0,01н раствор кислоты применяют для определения щелочности конденсата пара, турбинных конденсатов и дистиллятов испарителей.

Для определения щелочности котловой, умягченной или природной воды отбирают 100 мл воды в коническую колбу емкостью 250 – 300 мл, добавляют две-три капли спиртового раствора фенолфталеина и при появлении красного окрашивания (что указывает на наличие в воде гидратных ионов OH^-) титруют 0,1н раствором кислоты до обесцвечивания. После этого, отметив расход кислоты, вводят три-четыре капли метилоранжа и продолжают титровать до перехода окраски от желтой к оранжевой (не красной), вновь отмечают расход кислоты (общий, т.е. с самого начала титрования). В том случае, когда вода не окрасилась в красный или розовый цвет после добавления фенолфталеина (т.е. в воде отсутствуют ионы OH^-), непосредственно за ним вводят две капли раствора метилоранжа и титруют до перехода окраски от желтой к оранжевой. Титрование ведут при интенсивном и частом перемешивании воды, а кислоту прибавляют по каплям.

Для определения щелочности вод типа конденсатов отбирают пипеткой 100 мл воды в коническую колбу емкостью 250 – 300 мл, вводят две-три капли раствора фенолфталеина и при появлении красного окрашивания титруют из микробюретки 0,01н раствором кислоты до обесцвечивания жидкости. После этого, отметив расход кислоты, вводят две капли раствора метилоранжа или смешанного индикатора и продолжают титрование до перехода окраски воды от желтой к оранжевой или от зеленой к фиолетовой.

При определении щелочности конденсатов в присутствии аммиака отбирают 100 мл исследуемой воды в колбу емкостью 250 – 300 мл из термостойкого стекла и упаривают конденсат до 2/3 объема. Затем охлаждают и титруют, как указывалось выше.

Вычисление результатов. Общая щелочность воды в мг-экв/кг при титровании 0,1н раствором кислоты:

$$Щ_0 = 0,1 \cdot A \cdot 1000 \cdot k/V = 100 \cdot A \cdot k/V,$$

где A – расход 0,1н кислоты, мл;

0,1 – содержание кислоты в одном мл 0,1н раствора кислоты, мг-экв/кг;

k – коэффициент децинормальности кислоты;

V – объем воды, взятый для определения, мл.

Если $V = 100$ мл, $K = 1$, то

$$Щ_0 = A \cdot 1 \cdot 100/100 = A,$$

т.е. щелочность равна расходу кислоты при титровании 100 мл воды 0,1н раствором кислоты.

При титровании 0,01н раствором кислоты общая щелочность равна

$$Щ_0 = 0,01 \cdot A \cdot k \cdot 1000/V = 10 \cdot A \cdot k/V,$$

где 0,01н – содержание кислоты в 1 мл 0,01н раствора кислоты, мг-экв/кг.

Если $V = 100$ мл, $k = 1$, то

$$Щ_0 = 0,01 \cdot A \cdot 1 \cdot 1000/100 = 0,1 \cdot A, \text{ мг-экв/кг.}$$

Результаты определений свести в табл. 1.15.

Таблица 1.15

Анализируемая вода	Величина щелочности в мг-экв/кг	
	по фенолфталеину	по метилоранжу
1-я проба		
2-я проба		
3-я проба		

Проанализировать полученные результаты.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ ТРИЛОНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Общие сведения. Жесткостью воды называют суммарное содержание в ней ионов кальция и магния, выраженное в эквивалентных единицах (мг-экв/кг или мкг-экв/кг). Общая жесткость воды подразделяется на карбонатную и некарбонатную, кальциевую и магниевую, временную и постоянную, т.е. $J_0 = J_K + J_{HK} = J_{Ca} + J_{Mg} = J_{вр} + J_{п}$ и обусловлена присутствием в воде следующих солей кальция и магния: $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $CaCl_2$, $MgCl_2$, $CaSO_4$, $MgSO_4$, $CaSiO_3$, $MgSiO_3$ и др.

Жесткость конденсатов, питательной и химически обработанной вод является строго нормируемым показателем.

Сущность метода. Трилон Б (динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты) ($Na_2C_{10}H_{14}N_2O_8 \cdot 2H_2O$ или $C_6H_{12}N_2(COOH)_2 \times (COONa)_2 \cdot 2H_2O$) образует растворимые в воде внутрикомплексные соединения с катионами различных двух- и трехвалентных металлов. Эти комплексы обладают различной прочностью и образуются при определенных для каждого катиона значениях pH. К числу катионов, с которыми трилон Б образует комплексы, относятся катионы кальция, магния, меди, цинка, марганца, двух- и трехвалентного железа, алюминия и некоторые другие. Если в раствор, содержащий вышеупомянутые металлы, ввести индикатор, дающий непрочное окрашенное комплексное соединение с ионами этих металлов (винно-красный цвет пробы), то при добавлении трилона Б к такому окрашенному раствору в эквивалентной точке произойдет

разрушение слабых индикаторных комплексов с образованием прочных комплексов Ca^{2+} и Mg^{2+} и восстановлением цвета свободного индикатора. При использовании индикатора черного хромогена цвет раствора станет синим, а при использовании темно-синего хрома – синеваато-сиреневым.

При определении жесткости воды необходимо строгое соблюдение определенной щелочности среды. Значение pH титруемой пробы должно находиться в пределах 8...9, для чего в титруемый раствор вводят 5 мл аммиачно-буферного раствора.

Необходимые реактивы. Раствор трилона Б 0,1н и 0,01н концентрации; аммиачный буферный раствор; растворы индикаторов 0,5%-е темно-синего хрома или черного хромогена; раствор сульфида натрия 1,5 – 2%-й концентрации.

Выполнение работы. В коническую колбу емкостью 250 – 300 мл отмеривают мерным цилиндром необходимый объем прозрачной воды, который зависит от ее жесткости (табл. 1.16).

Т а б л и ц а 1.16

Жесткость воды, мг-экв/кг	Необходимый объем воды, мл
до 5,0	100
от 5,0 до 10,0	50
от 10,0 до 20	25

Объем отобранной пробы анализируемой воды доводят дистиллированной водой до 100 мл, добавляют 5 мл аммиачного буферного раствора и 7 – 8 капель раствора индикатора. При этом черный хромоген окрашивает пробу в винно-красный, а кислотный темно-синий хром – в розово-красный цвет. После этого пробу медленно титруют из бюретки 0,1н раствором трилона Б (при жесткости воды выше 0,5 мг-экв/кг) или из микробюретки 0,01н раствором трилона Б (при жесткости ниже 0,5 мг-экв/кг), все время интенсивно перемешивая, до изменения окраски жидкости в синюю (при черном хромогене) и синеваато-сиреневую (при темно-синем хроме).

Для определения жесткости в водах, содержащих ионы меди и цинка, необходимо их перевести в сульфиды, что достигается прибавлением к отобранной пробе 1 мл раствора сульфида натрия.

Вычисление результатов. Общая жесткость определяется по формуле

$$Ж_0 = a \cdot k \cdot 1000 \cdot N/V,$$

где $Ж_0$ – жесткость воды, мг-экв/кг;

a – расход трилона Б, мл;

k – коэффициент нормальности раствора трилона Б;

N – нормальность раствора трилона Б;

V – объем взятой для анализа пробы воды, мл.

Если нормальность приготовленного раствора трилона $N = 0,1н$, то

$$Ж_0 = a \cdot k \cdot 1000 \cdot 0,1/V = 100 \cdot a \cdot k/V.$$

Если для анализа было взято 100 мл воды, то $Ж_0 = a \cdot k$. При титровании 100 мл воды 0,1н раствором трилона Б $k = 1$. Следовательно, $Ж_0 = a$, мг-экв/кг.

Если нормальность приготовленного раствора трилона Б $N = 0,01н$, то

$$Ж_0 = a \cdot k \cdot 1000 \cdot 0,01/V = 10 \cdot a \cdot k/V.$$

Если для анализа было взято 100 мл воды и $k = 1$, то

$$Ж_0 = 0,1a \cdot k, \text{ мг-экв/кг}$$

$$\text{или } Ж_0 = 100a, \text{ мкг-экв/кг.}$$

Результаты определения $Ж_0$ свести в табл. 1.17.

Т а б л и ц а 1.17

Анализируемая вода	Величина жесткости, мг-экв/кг и мкг-экв/кг
1-я проба	$Ж_0 =$
2-я проба	$Ж_0 =$
3-я проба	$Ж_0 =$

Проанализировать полученные результаты.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ КОАГУЛЯНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОДЫ

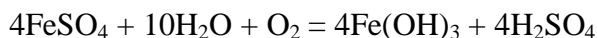
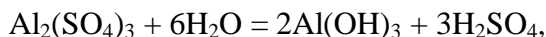
Общие сведения. Вода поверхностных источников водоснабжения обычно содержит некоторое количество органических и минеральных коллоидных примесей, оказывающих вредное влияние на внутрикотловые физико-химические процессы умягчения воды.

Коллоидные примеси нельзя удалить из воды путем естественного осаждения, так как их частицы имеют на своей поверхности отрицательные электрические заряды и, взаимно отталкиваясь, держатся во взвешенном состоянии. Нельзя удалить из воды коллоидные примеси и путем фильтрования через осветлительные фильтры, так как размеры их частиц (0,01 – 0,1 микрон) настолько малы, что, не задерживаясь, проходят через фильтрующий слой.

Укрупнение коллоидных частиц до размеров, при которых они достаточно быстро осаждаются в отстойниках или задерживаются на фильтрах, достигается коагуляцией. Реагенты, способные при добавлении в воду вызывать коагуляцию естественных коллоидов, называются коагулянтами. При определенных значениях pH среды коллоидные частицы коагулянта слипаются с частицами мелкодисперсных и коллоидных загрязнений воды в крупные хлопья, выпадающие под действием силы тяжести в осадок.

В качестве коагулянтов в водоподготовке применяют сернокислый алюминий $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ и сернокислое железо $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в виде растворов, имеющих концентрацию 5 – 10%.

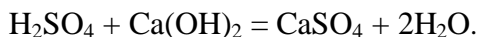
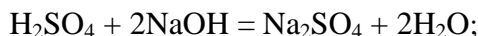
В результате реакций гидролиза



образуются гидраты окиси алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$ и железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$, обладающие свойством укрупнять взвешенные в воде частицы коллоидных примесей и осаждают их.

Образующаяся при гидролизе серная кислота H_2SO_4 нейтрализуется $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, содержащимися в воде, а при их от-

сутствии или недостатке – добавляемыми в воду NaOH, Na₂CO₃ или Ca(OH)₂ по реакциям:



Наилучший эффект коагуляции серно-кислым алюминием получается при pH = 6,5...7,5, а серно-кислым железом – при pH = 8...10.

Коагуляция воды сернокислым железом обычно сочетается с известкованием воды. Процесс коагуляции улучшается при подогреве воды до 30 – 40°C.

Установлено, что, применяя коагуляцию, можно удалить из воды 60 – 80 % органических веществ и 25 – 50 % кремниевой воды, находящейся в коллоидном состоянии.

Правильно выбранная доза коагулянта имеет большое значение для нормального протекания процесса коагуляции воды. Оптимальная доза коагулянта не может быть определена расчетным путем, поэтому для ее установления выполняются лабораторные опыты.

Для природных вод оптимальная доза коагулянта составляет обычно для серно-кислого алюминия Al₂(SO₄)₃ от 0,2 до 1,2 мг-экв/л, т.е. примерно 20 – 120 мг/л. При коагуляции, проводимой совместно с известкованием солями железа, оптимальная доза коагулянта обычно ниже и составляет 0,2...0,7 мг-экв/л, т.е. 25...100 мг/л FeSO₄·7H₂O.

После завершения процесса коагуляции остаточная минимальная щелочность воды должна находиться в пределах 0,3 – 0,5 мг-экв/кг. Размер необходимого подщелачивания может быть вычислен по формуле

$$Щ = K + 0,4 - Щ_0, \text{ мг-экв/кг},$$

где K – оптимальная доза коагулянта;

0,4 – остаточная щелочность коагулируемой воды;

$Щ_0$ – общая щелочность исходной воды.

Если при расчете по этой формуле щелочность получается отрицательной, то это указывает на отсутствие необходимости в подщелачивании.

Выполнение работы. Определяют общую щелочность исходной воды. Если она окажется больше 1 мг-экв/кг, то опыты проводят с применением только одного коагулянта. В противном случае добавляют и раствор щелочи.

Необходимую дозировку реагентов находят следующим образом:

1. Приготавливают 5 – 7 стаканов емкостью 500 мл.
2. Обрабатываемую воду подогревают до 30 – 40°C и наливают в стаканы.
3. Находят дозировку коагулянта.

В ряд стаканов с подогретой водой из бюретки вводят 1%-й раствор $Al_2(SO_4)_3$: в первый стакан 2 мл; во второй – 3 мл; в третий – 4 мл и т.д.

Раствор перемешивают и в течение 20 мин наблюдают за образованием хлопьев. Выбирают дозировку коагулянта, при которой процесс образования хлопьев проходит быстрее всего. Дозу коагулянта, добавленную в этот стакан, считают оптимальной для данной воды (например, 4 мл).

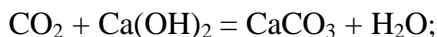
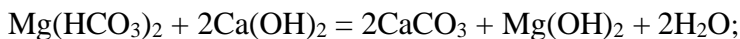
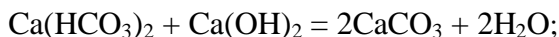
Результаты опыта. Принятая дозировка коагулянта _____ мл, что составляет _____ мг/л или мг-экв/л.

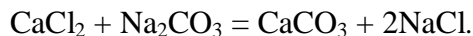
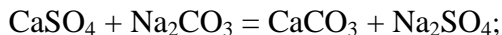
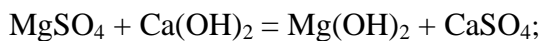
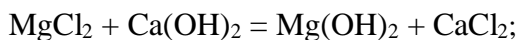
Лабораторная работа № 6

УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ МЕТОДОМ ОСАЖДЕНИЯ НАКИПЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Общие сведения. Суммарное содержание в воде всех кальциевых и магниевых соединений называют общей жесткостью воды.

При умягчении воды содово-известковым методом имеют место следующие реакции:





Образуются труднорастворимые соединения CaCO_3 и Mg(OH)_2 , которые удаляются из воды отстаиванием и фильтрацией. Соединения натрия Na_2SO_4 и NaCl легко растворимы и остаются в обработанной воде.

Умягченная содово-известковым методом вода имеет остаточную жесткость 0,25...0,35 мг-экв/кг при избыточной щелочности 1,0 мг-экв/кг.

Определение необходимого для умягчения воды количества извести и соды. Приведенные выше реакции умягчения воды показывают, что известь расходуется на осаждение солей карбонатной и магниевой жесткости и на связывание свободной углекислоты, а сода – на осаждение солей некарбонатной жесткости.

На основании этого необходимое для умягчения воды количество извести и соды в мг/кг можно определить по формулам:

$$G_{\text{CaO}} = 28(\mathcal{J}'_{\text{K}} + \mathcal{J}'_{\text{Mg}} + C + 0,35) \text{ мг/кг};$$

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 53(\mathcal{J}_{\text{нк}} + 2,0) \text{ мг/кг},$$

где 28 – эквивалент извести;

53 – эквивалент соды;

\mathcal{J}'_{K} , \mathcal{J}'_{Mg} , $\mathcal{J}_{\text{нк}}$ – карбонатная, некарбонатная и магниевая жесткости умягчаемой воды, мг-экв/кг;

C – концентрация CO_2 в умягчаемой воде, мг-экв/кг;

0,35 и 2,0 – избыток извести и соды, мг-экв/кг.

В лабораторных условиях для умягчения берется $V = 500$ мл воды, а дозировку реагентов производят в виде растворов, имеющих концентрации K_{CaO} мг/кг и $K_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$ мг/кг. Объемное количество растворов реагентов данных концентраций, необходимых для умягчения V мл воды, можно определить по формулам:

$$V_{\text{CaO}} = \frac{G_{\text{CaO}}}{K_{\text{CaO}}} \cdot \frac{V}{1000}, \text{ мл};$$

$$V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{G_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{K_{\text{Na}_2\text{CO}_3}} \cdot \frac{V}{1000}, \text{ мл}.$$

Выполнение работы. В стакан емкостью 750 мл наливают мерным цилиндром 500 мл воды, подлежащей умягчению, и нагревают ее на электрической плитке до температуры 70 – 100°C. Затем при помощи пипетки или цилиндра вводят необходимые дозы реагентов в виде растворов известной концентрации.

После ввода реагентов содержимое стакана тщательно перемешивают стеклянной палочкой и выпавшему осадку дают отстояться в течение одного часа. Затем его отфильтровывают и производят определение общей жесткости и щелочности фильтрата умягченной воды.

Результаты определения свести в табл. 1.18.

Таблица 1.18

Определяемые показатели	Исходная вода	Умягченная вода
1	2	3
Жесткость, мг-эquiv/кг		
Щелочность, мг-эquiv/кг		

Проанализировать полученные результаты.

Лабораторная работа № 7

УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ МЕТОДОМ КАТИОННОГО ОБМЕНА

Общие сведения. Умягчение воды методом катионного обмена заключается в использовании способности некоторых практически нерастворимых в воде специальных материалов (катионитов) вступать в ионный обмен с растворенными в воде солями, поглощая их катионы и отдавая в раствор эквивалентное количество катионов, которыми они насыщены.

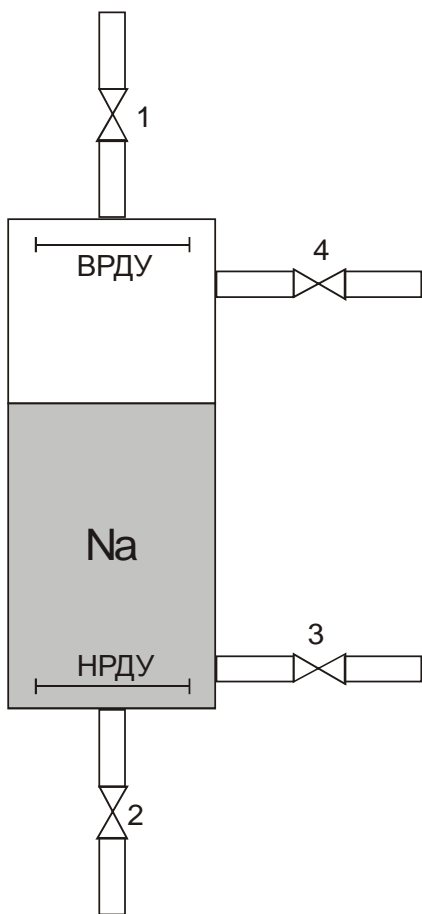


Рис. 1.1. Na-катионитовый фильтр

В зависимости от обменного катиона различают следующие процессы умягчения воды:

- водород-катионирование (обменный катион H^+);
- натрий-катионирование (обменный катион Na^+);
- аммоний-катионирование (обменный катион NH_3^+).

В данной лабораторной работе процесс умягчения воды будет проходить на Na-катионитовом фильтре (рис. 1.1).

Лабораторная установка состоит из фильтра диаметром 50 мм, высотой 240 мм, заполненного катионитом С-100 на высоту 120 мм. Для управления отдельными процессами работы фильтра он оборудован верхним и нижним дренажно-распределительным устройством и зажимами (здвижками) 1 – 4.

Полный цикл работы фильтра состоит из следующих процессов:

- умягчение воды;
- взрыхление слоя катионита;
- пропуск регенерационного раствора (10%-й раствор $NaCl$)
- отмывка катионита.

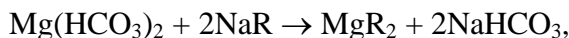
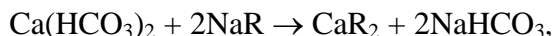
Выполнение работы

Процесс умягчения воды. Перед началом выполнения работы определяют карбонатную, некарбонатную и общую жесткость водопроводной (исходной) воды. (Методика определения приведена в лабораторной работе № 4).

Исходная вода через задвижку 1 подается на фильтр сверху вниз со скоростью фильтрования порядка 10 – 15 м/ч. Умягченную воду отбирают в сосуды по 500 мл с небольшим промежутком между отборами (3 – 5 проб). По окончании процесса умягчения задвижки 1 – 2 закрывают.

Выполняют анализ отобранных проб натрий-катионированной воды по жесткости и по щелочности.

Процесс умягчения воды происходит по следующим реакциям обмена:



где R – комплекс матрицы функциональной группы катионита.

Когда все катионы Na^+ заменяются на катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , произойдет истощение катионита и в фильтрате появятся катионы жесткости.

Процесс регенерации фильтра. Взрыхление катионита необходимо для устранения слежавшихся слоев и удаления из него механических загрязнений.

При взрыхлении воду подают на фильтр снизу вверх, для чего открывают задвижки 3, 4.

Скорость подачи воды увеличивают постепенно, так, чтобы весь катионит пришел во взвешенное состояние, исключая выброс его из фильтра.

Процесс взрыхления занимает около 10 мин.

Количество воды, необходимое для взрыхления катионита, подсчитывают по формуле

$$Q_{\text{взр}} = \frac{v_{\text{взр}} \cdot f \cdot t_{\text{взр}} \cdot 10^3}{60}, \text{ л},$$

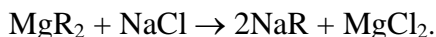
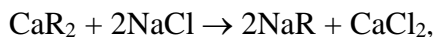
где $v_{\text{взр}}$ – скорость подачи воды, м/ч;

$t_{\text{взр}}$ – время взрыхления, $t_{\text{взр}} = 10$ мин.

f – площадь сечения фильтра, $f = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, м².

После окончания процесса взрыхления переходят к процессу пропуска регенерационного раствора.

Пропуск 10%-го раствора NaCl сопровождается на катионите следующими реакциями:



Определим необходимый объем 10%-го раствора соли для регенерации лабораторного фильтра.

Расход 100%-го раствора NaCl на регенерацию лабораторного фильтра при удельном расходе $b_{\text{NaCl}} = 80$ кг/м³ составит:

$$80 \text{ кг} - 1 \text{ м}^3 \text{ катионита,}$$

$$x \text{ кг} - 0,0002 \text{ м}^3 \text{ катионита,}$$

где 0,0002 м³ – объем катионита, загруженного в лабораторный фильтр.

Учитывая, что концентрация технической соли равна 96%, определим необходимый объем 10%-го раствора NaCl на регенерацию фильтра $V_{\text{NaCl}}^{96\%}$, мл.

Приготовленный объем 10%-го раствора NaCl пропустим через фильтр сверху вниз через задвижки 1, 2.

Отмывка катионита. Данный процесс имеет целью удалить из слоя катионита продукты регенерации CaCl₂ и MgCl₂, а также избыток поваренной соли NaCl. Отмывку производят умягченной водой, полученной в процессе умягчения, подавая ее сверху вниз.

Через некоторое время после начала отмывки (примерно 5...10 мин) отбирают пробы воды и проверяют на жесткость.

Отмывку производят до значения жесткости ~ 10 мкг-экв/кг.

Количество воды, необходимое для отмывки, определяют по расходу умягченной воды, затраченной на этот процесс.

Результаты анализов исходной и умягченной воды заносят в табл. 1.19.

Таблица 1.19

№	Исходная вода	Умягченная вода		
		проба №1	проба №2	проба №3
1	$J_k =$ $J_{нк} =$ $J_o =$	$J =$ $Щ =$	$J =$ $Щ =$	$J =$ $Щ =$

Анализируют полученные результаты.

Часть 2. ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ТЭС

Во второй части курса “Водно-химические режимы ТЭС” для студентов дневной и заочной формы обучения по специальности 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» предусмотрены лекции, лабораторные и практические занятия и выполнение курсового проекта в соответствии с шифром. Студентам дневной формы обучения задание на курсовое проектирование выдает преподаватель.

2.1. Темы и их содержание

Тема 2.1.1. Введение

Развитие энергетики и требования по надежности и экономичности теплоэнергетического оборудования ТЭС. Водно-химический комплекс ТЭС. Условия использования и параметры теплоносителя на ТЭС. Связь между параметрами и свойствами воды. Задачи организации ВХР на ТЭС. Краткий обзор основных ВХР, используемых на ТЭС. Влияние ВХР на показатели надежности и экономичности работы основного оборудования ТЭС. Нормирование качества теплоносителя на ТЭС.

Тема 2.1.2. Условия образования и способы удаления отложений с поверхностей теплоэнергетического оборудования

Состав, структура и физические свойства отложений. Условия образования твердой фазы из солевых растворов. Образование от-

ложений на поверхностях нагрева барабанных котлов. Условия образования щелочно-земельных накипей. Условия образования ферро- и алюмосиликатных, железоокисных и железофосфатных, медноокисных накипей. Условия образования отложений легкорастворимых соединений. Образование отложений на внутренних поверхностях прямооточных парогенераторов. Предотвращение отложений на парообразующих поверхностях нагрева. Удаление отложений с теплообменных поверхностей нагрева парогенераторов. Способы проведения химических промывок оборудования.

Предпусковые химочистки парогенераторов и тракта питательной воды. Эксплуатационные очистки парогенераторов и тракта питательной воды. Загрязнение пара, образование отложений по паровому тракту и способы их удаления. Причины загрязнения пара. Распределение и способы удаления примесей в проточной части турбины. Способы контроля за чистотой поверхностей основного теплоэнергетического оборудования.

Тема 2.1.3. Коррозия металла паросилового оборудования и методы борьбы с ней

Основы теории коррозии металлов. Природа коррозии и формы ее проявления. Влияние внутренних и внешних факторов на скорость протекания коррозии. Коррозия основного теплоэнергетического оборудования ТЭС. Коррозия тракта питательной воды и конденсата. Причины и виды коррозионного повреждения металла парогенераторов. Характеристика основных видов коррозии металла котлов и мероприятия по ее предотвращению. "Стояночная" коррозия парогенераторов и меры по ее предотвращению (сухой и мокрый резерв). Коррозия труб пароперегревателей. Коррозия паровых турбин и способы ее предотвращения. Основные причины и виды коррозии конденсаторов и способы ее предотвращения. Способы консервации теплоэнергетического оборудования. Консервация турбин и энергетических котлов горячим воздухом. Ингибиторы коррозии. Безотходная консервация турбин ингибиторами. Парокислородная очистка и пассивация поверхностей энергетического оборудования. Анализ существующих методов консервации теплоэнергетического оборудования.

Тема 2.1.4. ВХР барабанных котлов

Нормирование водного режима барабанных котлов. Причины загрязнения и методы повышения чистоты насыщенного пара. Организация ступенчатого испарения (достоинства и недостатки). Промывка насыщенного пара питательной водой и способы реализации. Паропромывочные и сепарационные устройства. Назначение и организация непрерывной продувки, расчет ее величины, способы утилизации продувочной воды. Назначение и организация периодической продувки.

Коррекционная обработка котловой и питательной воды барабанных котлов. Назначение и способы реализации фосфатной обработки котловой воды, амминирования и гидразинной обработки питательной воды. Применение комплексонов для обработки питательной воды. Особенности ведения водных режимов барабанных котлов среднего, высокого и сверхвысокого давлений. Бесфосфатный водный режим барабанного котла. Опыт применения нейтрально-окислительного водного режима для барабанного котла. Основные пути совершенствования ВХР барабанных котлов.

Тема 2.1.5. ВХР прямоточных котлов

Динамика развития теплоэнергетики сверхкритического давления, обусловленная ВХР. Влияние ВХР на надежность оборудования энергоблоков сверхкритического давления (СКД). Обзор водных режимов прямоточных парогенераторов, используемых в мировой энергетике. Гидразинно-аммиачный водный режим (достоинства и недостатки). Водный режим повышенного амминирования. Особенности восстановительного и комплексонового водных режимов. Нейтрально-окислительные водные режимы. Особенности применения кислородных режимов на ТЭС ведущих западных стран. Анализ и условия использования окислителей. Комбинированный водный режим.

Тема 2.1.6. ВХР тепловых сетей

Основные положения и требования к тепловым сетям в целях повышения надежности их эксплуатации. Нормирование качества подпиточной и сетевой воды. Образование и характер отложений в

водогрейном оборудовании. Коррозия оборудования теплосетей (природа и формы проявления коррозии, основные коррозионные агенты). Коррозия теплообменных аппаратов и способы ее снижения. Особенности коррозии трубопроводов и основные меры, направленные на обеспечение надежной и экономичной их эксплуатации. Стояночная коррозия оборудования систем теплоснабжения и способы ее предотвращения. Пути повышения надежности ВХР и организация химконтроля в теплосетях.

Тема 2.1.7. Очистка турбинного и производственного конденсата на ТЭС

Основные потоки конденсатов на ТЭС. Характеристика загрязнений турбинного конденсата. Очистка турбинного конденсата. Блочная обессоливающая установка (БОУ). Основное оборудование БОУ. Характеристика загрязнений внешнего конденсата и схемы его очистки, очистка конденсатов от нефтепродуктов. Схемы обезжелезивания и обессоливания конденсатов. Оборудование для очистки конденсатов (насыпные и намывные фильтры, электромагнитные фильтры, фильтры смешанного действия (ФСД) с выносной регенерацией).

Тема 2.1.8. Системы технического водоснабжения ТЭС

Критерии выбора источника водоснабжения ТЭС. Основные потребители технической воды на ТЭС. Расчет расхода технической воды на ТЭС. Прямоточная и оборотная системы охлаждения ТЭС. Требования, предъявляемые к охлаждающей воде. Методика расчета оборотной системы с водохранилищем-охладителем, с градирнями. Требования к прямоточной системе охлаждения. Удаление из воды минеральных и биологических примесей для обеспечения чистоты поверхности охлаждения конденсаторов турбин (физические и химические методы).

2.2. Лабораторные работы по 2-й части «Водно-химические режимы ТЭС»

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРИСОСА ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ В КОНДЕНСАТОРЕ ТУРБИНЫ

Общие сведения

Конденсатор – теплообменный аппарат, предназначенный для превращения пара, отработавшего в турбине, в жидкое состояние (конденсат).

Конденсация пара сопровождается выделением скрытой теплоты парообразования, которая отводится при помощи охлаждающей (циркуляционной) воды. Расход воды на охлаждение конденсатора турбины измеряется десятками тысяч тонн в час.

Наиболее ответственной частью конденсатора являются конденсаторные трубки. Одним из основных требований, предъявляемых к ним, является коррозионная стойкость. Поэтому их изготавливают из сплавов цветных металлов на основе меди, а также из хромоникелевой нержавеющей стали.

Конденсаторные трубки (а их в конденсаторе порядка нескольких десятков тысяч) крепятся в трубных досках и методы их крепления должны обеспечивать плотность и долговечность.

Гидравлическая плотность конденсатора обеспечивается правильным выбором материала трубок и конструктивными мероприятиями, исключающими возможность попадания циркуляционной воды в паровое пространство конденсатора в местах разъемных соединений, вальцовочных креплений трубок в трубных досках и в самих трубках, подверженных различным механическим, эрозионным и коррозионным повреждениям.

Наиболее опасны с точки зрения ухудшения гидравлической плотности механические повреждения трубок, так как обрыв даже одной трубки приводит к серьезному загрязнению турбинного конденсата, являющегося основной составляющей питательной воды котлов.

Причинами механических повреждений могут быть:

- а) вибрационная усталость металла;
- б) эрозия трубок;

в) некачественная вальцовка и стирание стенок трубок в местах перехода их через промежуточные перегородки и т.д.

Наиболее частой причиной повреждения трубок являются следующие виды коррозии: общее и пробочное обесцинкование, коррозионное растрескивание, ударная коррозия и коррозионная усталость.

Основные мероприятия для предотвращения попадания в конденсат охлаждающей воды через неплотности в местах вальцовочных соединений (рис. 2.1, а, б):

- применение двойных трубных досок, организация солевых отсеков в паровом пространстве конденсатора;
- увеличение толщины основных трубных досок;
- нанесение уплотняющих покрытий на трубные доски и выступающие концы со стороны водяных камер (эпоксидные смолы, наирит и т.д.).

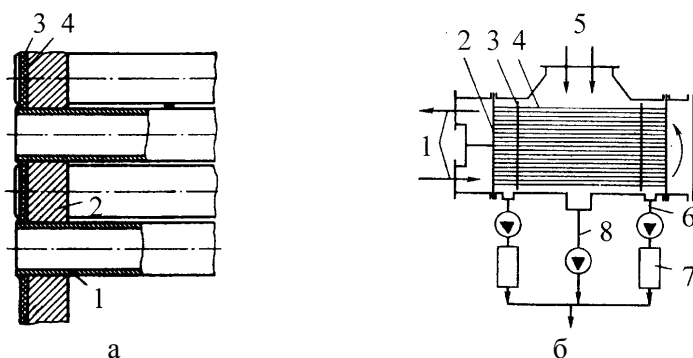


Рис. 2.1. Схема трубной доски с покрытием из жидкого наирита (а), где 1 – латунная теплообменная трубка; 2 – стальная трубная доска; 3 – жидкий наирит; 4 – грунтовка;

схема конденсатора с соевыми отсеками (б),

где 1 – охлаждающая вода; 2 – основные трубные доски; 3 – дополнительные трубные доски; 4 – трубная теплообменная поверхность; 5 – пар из турбины; 6 – конденсат соевых отсеков; 7. – ионообменная установка для очистки конденсата соевых отсеков; 8 – основной конденсат

Гидравлическая плотность конденсатора характеризуется присосами охлаждающей воды, и ее оценивают по жесткости конденсата, которая не должна превышать 0,2 мкг-экв/кг для энергоблоков с прямоточными парогенераторами и АЭС и должна находиться в пределах от 10 до 1 мкг-экв/кг для энергоблоков с барабанными котлами давлением от 4 до 15,5 МПа.

Выполнение работы

Количество солей, поступающих в конденсатор турбины, при наличии присосов охлаждающей воды, определяется ее солесодержанием, а также величиной и длительностью присосов.

В целях контроля гидравлической плотности конденсатора его оснащают пробоотборными устройствами в точках 1 – 3 (рис. 2.2).

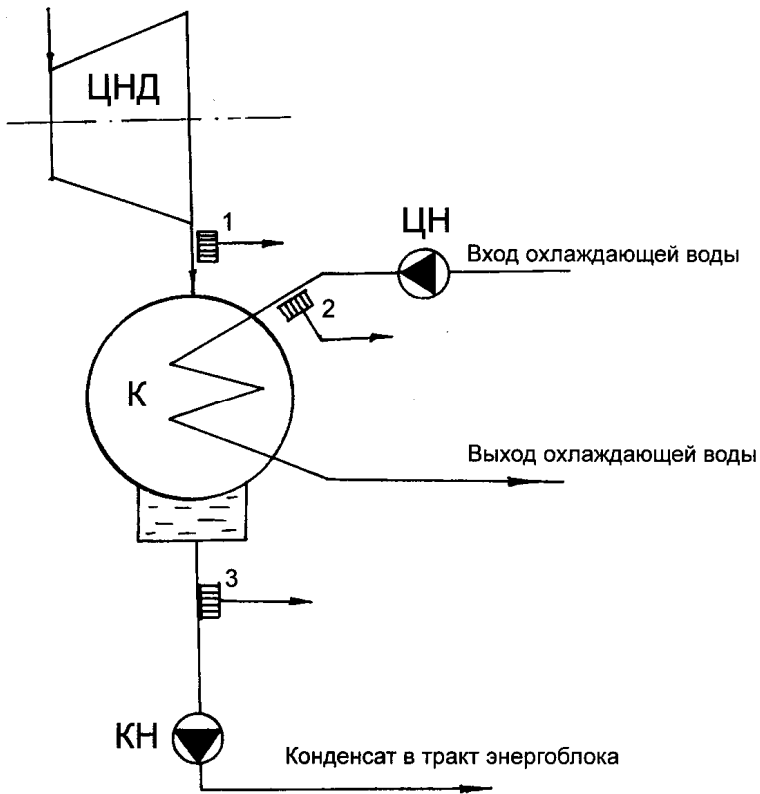


Рис. 2.2. Схема контроля гидравлической плотности конденсатора:
1 – пробоотборник пара, отработавшего в турбине; 2 – пробоотборник охлаждающей воды; 3 – пробоотборник турбинного конденсата

В точке 1, находящейся на входе в конденсатор, производят отбор пробы пара, отработавшего в турбине.

В точке 2, расположенной на трубопроводе охлаждающей воды, производят отбор пробы циркуляционной воды.

В точке 3 производят отбор пробы на выходе из конденсатора – турбинный конденсат.

Для выполнения работы в качестве пробы точки 1 условно примем дистиллят, пробы точки 2 – водопроводную воду. Определим общую жесткость этих потоков. Пробу точки 3 – турбинный конденсат – получаем следующим образом: в четыре колбы наливаем по 100 мл дистиллированной воды и в каждую добавляем из бюретки соответственно 0,5, 1, 2, 3 мл водопроводной воды, имитируя тем самым разную величину присоса охлаждающей воды в конденсат.

Определим последовательно общую жесткость пробы 3 в каждой колбе при различной величине присоса. Для этого в коническую колбу с соответствующей пробой добавляем 5 мл аммиачного буферного раствора и 5 – 6 капель индикатора (кислотный темно-синий хром). Затем титруем пробу 0,1 н или 0,01 н раствором трилона Б, интенсивно перемешивая до момента перехода окраски в сине-голубую.

Вычисление результатов выполняют по формуле

$$Ж_0 = \frac{a \cdot k \cdot 1000 \cdot N}{V},$$

где a – расход трилона Б, мл;

k – коэффициент нормальности раствора трилона Б;

N – нормальность раствора трилона Б;

V – объем пробы, взятой на анализ, мл.

При нормальности раствора трилона Б $N = 0,1$ н и $V = 100$ мм, $k = 1$.

$$Ж_0 = a \cdot k, \text{ мг·экв/кг}$$

При нормальности раствора трилона Б $N = 0,01$ н

$$Ж_0 = 0,1 \cdot a \cdot k \text{ мг·экв/кг} \quad \text{или} \quad Ж_0 = 100 \cdot a \cdot k \text{ мкг·экв/кг.}$$

Результаты всех опытов заносим в табл. 2.1.

Таблица 2.1

№ опыта	Жесткость, мкг-экв/кг		
	J_{Π}^0 (точка 1)	$J_{\text{ов}}^0$ (точка 2)	$J_{\text{к}}^0$ (точка 3)
1			
2			
3			
4			

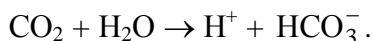
По полученным значениям жесткости конденсата проанализировать возможность эксплуатации энергоблока при различных величинах присоса для заданного преподавателем типа парогенератора.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ СВОБОДНОЙ УГОЛЬНОЙ КИСЛОТЫ В ВОДЕ

Общие сведения

Свободная угольная кислота является одним из основных факторов, влияющих на процесс коррозии. Она препятствует образованию на поверхности металла пассивирующего защитного слоя, вследствие чего скорость коррозии с течением времени не уменьшается. Угольная кислота понижает рН воды в процессе диссоциации:



Степень диссоциации увеличивается с ростом температуры, а это в свою очередь приводит к повышению кислотности воды и резкому возрастанию ее коррозионной агрессивности.

Так, вода, содержащая CO_2 , при комнатной температуре растворяет медь и латунь очень медленно. В присутствии кислорода процесс коррозии активизируется.

При температуре воды 40 – 50 °С и выше обесцинкование латуни происходит и при отсутствии кислорода.

Определение свободной CO_2 основано на титровании ее раствором щелочи в присутствии индикатора фенолфталеина по реакции:



Титрование ведут до $\text{pH} = 8,4$, что совпадает со слабо-розовой окраской, появляющейся от одной капли раствора щелочи.

Окраска не должна исчезать при выдерживании раствора в колбе с притертой пробкой в течение 1 – 2 мин.

Необходимые реагенты:

- раствор щелочи 0,1 н концентрации;
- спиртовой 1%-й раствор фенолфталеина.

Выполнение работы

Собирают прибор (рис. 2.3). Присоединив его резиновой трубкой 1 к водопроводному крану, заполняют колбу 6 анализируемой водой, давая ей выливаться через трубку 2 до тех пор, пока через прибор не пройдет 6 – 7 объемов воды. После этого резиновую трубку 2 перекрывают зажимом 3, снимают трубку 2, заменяя ее хлоркальциевой трубкой, содержащей влагопоглощающее вещество.

Зажим 3 на трубке 1 ослабляют и дают воде вытекать из колбы до уровня, соответствующего отметке 200 мл. Затем снимают хлоркальциевую трубку и отверстие закрывают резиновой пробкой.

После отбора пробы колбу переносят на лабораторный стол для титрования. Открыв резиновую пробку, в воду добавляют 2 – 3 капли фенолфталеина и титруют 0,1 н раствором щелочи из бюретки. Прибавление щелочи производят по каплям с перерывом для перемешивания при закрытой пробке, затем выжидают несколько секунд и снова добавляют щелочь и так до тех пор, пока не появится устойчивая слабо-розовая окраска от одной капли раствора.

Количество свободной углекислоты в мг/кг, содержащейся в исследуемой воде, рассчитывают по формуле

$$\text{CO}_2 = \frac{a \cdot N \cdot k \cdot 44 \cdot 1000}{200} = 220a \cdot N \cdot k,$$

где a – расход 0,1 н раствора NaOH на титрование, мл;

4 – эквивалентная масса CO_2 в данной реакции;

N – нормальность раствора NaOH;
 k – поправочный коэффициент к нормальности..

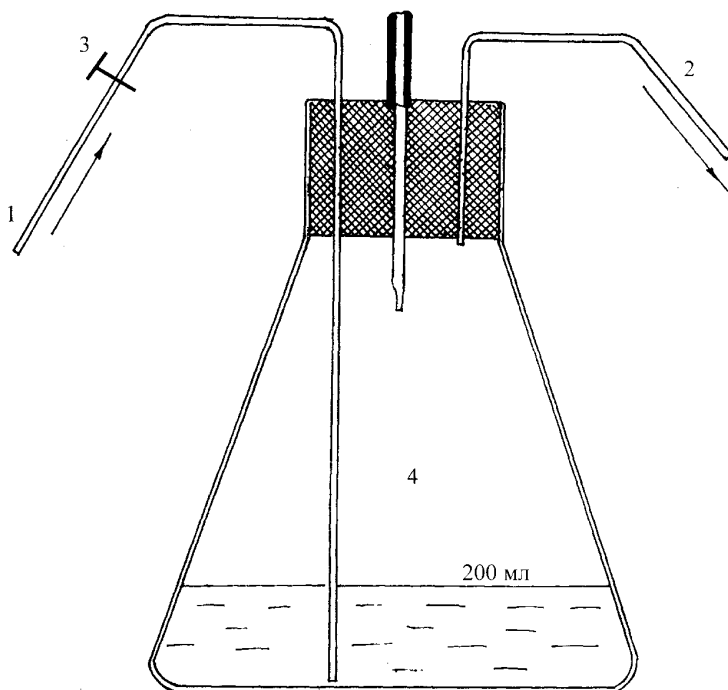


Рис. 2.3. Прибор для определения концентрации CO_2 :
 1 – резиновая трубка для поступления воды; 2 – резиновая трубка для спуска воды;
 3 – зажим; 4 – колба

Результаты опытов заносим в табл. 2.2.

Таблица 2.2

№ п/п	Анализируемая вода	Расход NaOH, мл	Величина CO_2 , мг/кг
1			
2			
3			

Анализируем полученные результаты.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ И ТОЛЩИНЫ ОТЛОЖЕНИЙ В ЭКРАННЫХ ТРУБАХ КОТЛОВ

Общие сведения

Примеси, попадающие в питательную воду пароводяного тракта при нарушении водного режима, превращаются в твердую массу и оседают на внутренних поверхностях котельных агрегатов, ПВД, ПНД, сетевых подогревателей, конденсаторов паровых турбин, в ее проточной части. Эти отложения различны по химическому составу, структуре, плотности сцепления с металлом оборудования. Все виды отложений вызывают ухудшение теплопередачи и увеличение расхода топлива в котлоагрегатах, приводят к перегреву металла и, как следствие, к появлению отдулин, свищей, разрыву труб.

Наиболее эффективным контролем за состоянием внутренней поверхности экранных труб котлов является наблюдение за температурой труб. Возможно применение менее объективного метода – выборочная вырезка контрольных образцов.

Вырезанные образцы труб маркируют и передают в химический цех для выполнения необходимых анализов.

Количественную оценку загрязненности поверхностей нагрева отложениями производят путем снятия отложений механическим способом, т. е. с помощью скребков, ножичков и других приспособлений.

Методика определения

Отмерить на поверхности вырезанного отрезка трубы определенную площадь и тщательно снять с нее отложения специальным скребком. Оценить плотность отложений, слоистость, сцепляемость с металлом.

Полученные отложения поместить на чистый лист бумаги и взвесить. После этого приступить к расчетам.

Загрязненность поверхности трубы оценивается удельной загрязненностью, т. е. количеством отложений в граммах, приходящихся на один квадратный метр поверхности, и подсчитывается по формуле

$$g = \frac{D}{F} \cdot 10000, \text{ г/м}^2,$$

где D – количество снятых отложений, г;

F – отмеренная поверхность, с которой сняты отложения, см²;

Предельные величины количества отложений на внутренней поверхности экранных труб с огневой стороны для различного типа котлов и топлива приведены в табл. 2.3.

Т а б л и ц а 2.3

Тип парогенератора	Вид топлива			
	Жидкое и газообразное, г/м ²	Твердое и жидкое, г/м ²	Уголь, г/м ²	Торф и прочие, г/м ²
Барабанные котлы:				
P до 4 МПа	800	800	1000	1200
P от 4 до 10 МПа	600	600	800	1000
P от 10 до 15 МПа	400	400	600	800
Прямоточные котлы:				
докритического давления	300	300	400	-
сверхкритического давления	200	200	300	-

По табл. 2.4 произвести оценку состояния экранной трубы для конкретного значения теплонапряженности поверхности нагрева.

Т а б л и ц а 2.4

№ п/п	Состояние поверхности образца	Теплонапряженность поверхности нагрева, тыс. кДж/м ² ·ч		
		25-60	60-100	более 100
		Удельная загрязненность, г/м ²		
1	Чистая	до 25	до 25	до 25
2	Легкий налет	25-50	25-50	25-50
3	Незначительно загрязненная	50-150	50-100	50-100
4	Загрязненная	150-250	100-200	100-200
5	Сильно загрязненная	250-400	200-350	200-300
6.	Катастрофически загрязненная	400 и более	350 и более	300 и более

Толщину отложений определим по формуле

$$\delta = \frac{10 \cdot D}{F \cdot \rho}, \text{ мм,}$$

где ρ – плотность отложений, г/см^3 (для железистых отложений $\rho = 7 \text{ г/см}^3$, для щелочно-земельных – $1,1 \text{ г/см}^3$).

Поверхность труб считается чистой, если толщина отложений не превышает 0,2 мм для барабанных котлов и 0,1 мм – для прямоточных.

По полученным результатам расчета и табл. 2.4 и 2.5 сделать вывод о состоянии поверхностей нагрева котлоагрегата и необходимости проведения эксплуатационной химической очистки.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Общие сведения

Более половины аварий и неполадок на оборудовании ТЭС вызваны коррозионными повреждениями.

Для определения скорости коррозии конструкционных материалов в конденсатно-питательном тракте (КПТ) устанавливают индикаторы коррозии, изготовленные из того же материала, что и контролируемое оборудование. При вскрытиях контролируемых участков КПТ образцы извлекают и подвергают анализу, по результатам которого оценивают скорость и характер коррозии металла за время нахождения образцов в тракте энергоблока.

Индикатор коррозии и схема его установки в трубопроводе приведены на рис. 2.4, а, б, в.

Контрольные пластины 1 представляют собой круглые диски диаметром 60 и толщиной 3 мм с отверстием в центре. Поверхность пластин шлифуется и промывается раствором щелочи, спиртом и эфиром. Перед установкой в трубопровод высушенные образцы взвешивают с точностью до 0,0001 г. Пластины надевают на стержень 2 и отделяют друг от друга дистанционирующими патрубками 3. Стержень с набором пластин устанавливают по оси трубопровода 4 и фиксируют в нем с помощью бобышки 5 и фланца 6.

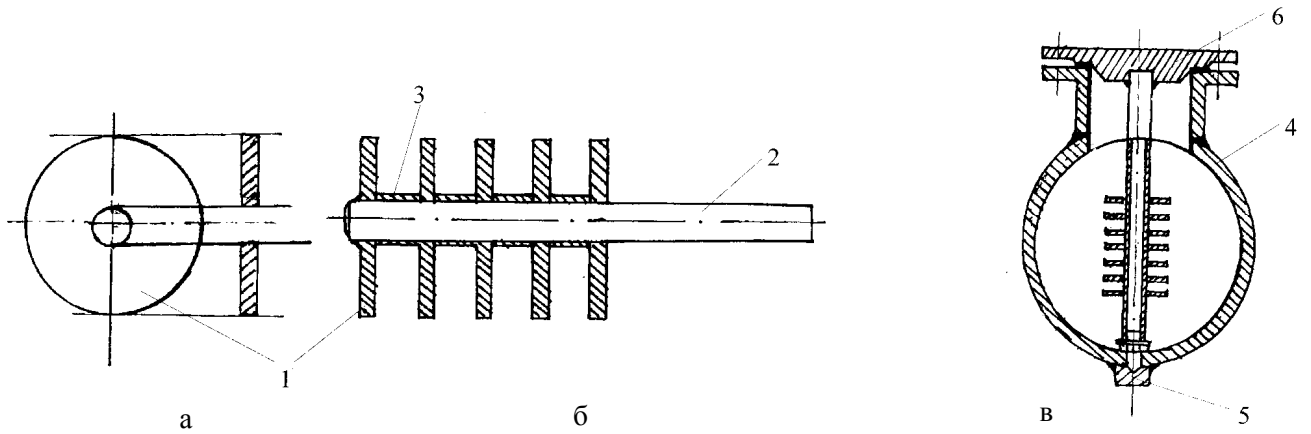


Рис. 2.4. Индикатор коррозии и схема его установки в трубопроводе: а – контрольная пластина; б – общий вид индикатора коррозии; в – установка индикатора в трубопроводе; 1 – контрольные пластины; 2 – стержень; 3 – дистанционирующий патрубок; 4 – трубопровод; 5 – бобышка; 6 – фланец

Индикаторы устанавливают на вертикальных участках трубопроводов. Рекомендуется ставить их в начале и конце конденсатного тракта, а также на трубопроводе греющего пара ПНД. Длительность испытания индикаторов должна быть не менее 1 года. В целях изучения кинетики процесса коррозии рекомендуется устанавливать по 15 – 20 индикаторных пластин для возможности извлечения по 3 – 4 пластины через различные промежутки времени. Скорость и формы проявления коррозии конструкционных материалов определяют по состоянию индикаторных пластин, простоявших максимальное время.

После извлечения пластин из трубопровода производят их осмотр и записывают в специальный журнал состояние, отмечая цвет образцов, равномерность отложений, наличие локальной (язвины, бугорки) или щелевой коррозии.

Описание внешнего вида поверхности пластин производят и после удаления продуктов коррозии, обращая особое внимание на наличие язв и локализацию коррозии.

Средняя скорость равномерной коррозии K_p г/(м² · ч), подсчитывается по формуле

$$K_p = \frac{(g_1 - g_2) \cdot 1000}{F \cdot T} \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)},$$

где g_1 и g_2 – вес одной пластины соответственно до испытаний и после удаления отложений и окислов, г;

F – общая поверхность одной пластины, см²;

T – длительность испытаний, ч.

Скорость язвенной коррозии $K_я$ (мм/год) оценивается по формуле

$$K_я = \frac{\delta \cdot 8760}{T} \text{ мм/год},$$

где δ – глубина язвин (средняя или максимальная), мм.

В табл. 2.5 приведены значения, позволяющие дать оценку состояния поверхности металла, в зависимости от вида и интенсивности коррозии водяного экономайзера.

Таблица 2.5

Состояние металла	Вид коррозии	
	равномерная K_p , г/(м ² · ч)	язвенная $K_я$, мм/год
1. Слабая коррозия	0,05	0,15
2. Допустимая коррозия	0,1	0,25
3. Сильная коррозия	0,3	0,8
4. Аварийная коррозия	0,4	1,2

Методика проведения работы

Взвешиваем на аналитических весах пластинку индикатора коррозии, записываем вес в граммах. Измерением и расчетом находим поверхность пластины в см². Считаем, что индикатор был установлен во входном коллекторе водяного экономайзера и простоял там в течение года.

Определим потерю веса пластины (g_2), а также максимальную глубину язвин (δ) для различной степени поражения металла (табл. 2.5).

2.3. Курсовой проект по дисциплине «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС»

2.3.1. Содержание пояснительной записки к курсовому проекту

Введение (краткая характеристика ТЭС, значение водоподготовки и водно-химического режима).

1. Выбор источника водоснабжения ТЭС, анализ показателей качества исходной воды.

2. Обоснование метода и выбора схемы подготовки подпиточной воды котлов ТЭС.

3. Эскиз выбранной схемы ВПУ и пересчет изменения показателей качества воды по отдельным стадиям обработки.

4. Полное описание технологических процессов по стадиям обработки воды.

5. Определение производительности водоподготовительных установок для подпитки котлов и тепловых сетей.
 6. Расчет водоподготовительной установки ТЭС:
 - 6.1. Расчет обессоливающей части водоподготовительной установки (ВПУ).
 - 6.2. Расчет схемы подпитки теплосети.
 - 6.3. Расчет схемы предочистки.
 - 6.4. Анализ результатов расчета.
 - 6.5. Компоновка оборудования ВПУ.
 7. Специальное задание № 1 «Водно-химический режим ТЭС»:
 - 7.1. Нормы качества питательной воды и перегретого пара на ТЭС.
 - 7.2. Нормы качества подпиточной воды теплосетей и сетевой воды.
 - 7.3. Основные мероприятия по поддержанию выбранного ВХР ТЭС.
 - 7.4. Методы коррекции котловой и питательной воды.
 - 7.5. Характеристика потоков конденсатов на ТЭС и схемы их очистки.
 8. Специальное задание № 2 «Выбор и описание системы технического водоснабжения ТЭС».
- Заключение.

2.3.2. Методические указания к выполнению курсового проекта

При выборе источника водоснабжения необходимо учитывать, что в качестве исходных вод для электростанций используют:

- воды поверхностных источников;
- воды артезианских скважин не питьевого качества, если по основным показателям они не хуже вод открытых водоемов;
- воды прямоточных и циркуляционных систем охлаждения конденсаторов турбин;
- очищенные промышленные сточные воды, очищенные сточные воды электростанций, хозяйственно-бытовые сточные воды после их биологической очистки и проверки возможности использования.

По справочной литературе [1] выбирается конкретный источник водоснабжения, выписываются показатели качества воды и производится их пересчет из мг/кг в мг-экв/кг.

Пример. В исходной воде содержание катионов кальция Ca^{2+} составляет 102,0 мг/кг.

Определяем эквивалент кальция по выражению

$$\mathcal{E}_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{M}{n}, \text{ экв},$$

где M – молекулярная масса кальция, $M = 40,08$ мг/кг;

n – валентность, $n = 2$.

$$\mathcal{E}_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{40,08}{2} = 20,04 \text{ экв},$$

$$\mathcal{E}_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{102,0}{20,04} = 5,09 \text{ мг-экв/кг}.$$

Аналогично производится пересчет всех содержащихся в воде катионов и анионов.

2.3.3. Обоснование метода и выбор схемы ВПУ

Выбор способов обработки добавочной воды котлов ТЭС производится в зависимости от качества исходной воды и типа установленного оборудования.

На КЭС и отопительных ТЭЦ восполнение потерь питательной воды производится обессоленной водой, если среднегодовое суммарное содержание анионов сильных кислот ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) исходной воды менее 5 мг-экв/кг и отсутствуют специфические органические соединения, которые не могут удаляться при коагуляции. Применение испарителей допускается при технико-экономическом обосновании и при наличии в исходной воде упомянутых органических загрязнений.

Если $\sum A_{\text{СК}} > 5$ экв/кг, то применяют химическое обессоливание в сочетании с мембранными методами или испарители.

На ТЭЦ с отдачей пара на производство восполнение потерь может производиться химически обессоленной водой (при необходимости в сочетании с мембранными и другими методами) или дистиллятом испарителей при технико-экономическом обосновании.

На ТЭС при восполнении потерь дистиллятом испарителей последние дополняются общестанционной испарительной или обессоливающей установкой.

Для ТЭС с барабанными котлами в зависимости от параметров пара, способа регулирования температуры перегретого пара и качества исходной воды применяют одно- или двухступенчатое обессоливание, при необходимости совмещаемое с мембранными методами.

На ТЭС с прямоточными котлами применяют трехступенчатое обессоливание.

На АЭС с реакторами ВВЭР подготовка воды осуществляется по двухступенчатой схеме, с реакторами РБМК – по трехступенчатой схеме химического обессоливания воды.

Для подготовки подпиточной воды тепловых сетей с закрытой системой горячего водоснабжения могут применяться следующие схемы:

при наличии на ТЭЦ водогрейных котлов – известкование с коагуляцией и Na-катионирование;

при подогреве сетевой воды только в сетевых подогревателях – известкование с коагуляцией.

Для подпитки открытых систем теплоснабжения (вода должна удовлетворять по своим качествам ГОСТ на питьевую воду) применяют:

- Н-катионирование с "голодной" регенерацией для вод $\mathcal{J}_k = \mathcal{J}_0$;
- подкисление H_2SO_4 или HCl для вод $\mathcal{J}_k = \mathcal{J}_0$ – (0...3) мг-экв/кг;
- подкисление сырой воды H_2SO_4 или HCl с полным или частичным натрий-катионированием;
- известкование (с коагуляцией) с подкислением при наличии ограничений по сбросу минерализированных стоков и невозможности ограничиваться одним подкислением.

Водоподготовительные установки ТЭС, работающие на воде поверхностных источников, как правило, имеют стадию предварительной очистки воды, состоящую из осветлителей и осветлительных (механических) фильтров.

Предочистка предназначена для удаления из обрабатываемой воды грубо-, коллоидно- и частично молекулярно-дисперсных веществ.

Существуют два типа предочистки:

– при карбонатной жесткости исходной воды \mathcal{J}_K менее 2 мг-экв/кг целесообразно применять коагуляцию воды сернокислым алюминием $Al_2(SO_4)_3$;

– при карбонатной жесткости воды более 2 мг-экв/кг применяют обработку воды сернокислым железом $FeSO_4$ с известкованием $Ca(OH)_2$.

Дальнейшая обработка воды проводится на ионитных фильтрах выбранной схемы обессоливания.

На рис. 2.5 приведен эскиз комбинированной схемы: двухступенчатого обессоливания воды для подпитки котлов, умягчения воды для подпитки теплосети на Na-катионитных фильтрах и предочистки.

2.3.4. Пересчет показателей качества воды по отдельным стадиям обработки

Предочистка – коагуляция $Al_2(SO_4)_3$. Жесткость остаточная:

$$\mathcal{J}_K^{ост} = \mathcal{J}_K^{исх} - K_{Al},$$

$$\mathcal{J}_{нк}^{ост} = \mathcal{J}_{нк}^{исх} + K_{Al}; \quad \mathcal{J}_o^{ост} = \mathcal{J}_o^{исх},$$

где \mathcal{J}_K , $\mathcal{J}_{нк}$, \mathcal{J}_o – жесткость воды соответственно карбонатная, некарбонатная и общая, мг-экв/кг;

K_{Al} – доза $Al_2(SO_4)_3$ для коагуляции, мг-экв/кг.

Щелочность остаточная:

$$\mathcal{Ш}_o^{ост} = \mathcal{Ш}_o^{исх} - K_{Al}, \text{ мг-экв/кг,}$$

где $\mathcal{Ш}_o^{исх}$ – щелочность исходной воды общая, мг-экв/кг.

Концентрация ионов хлора не изменяется.

Концентрация кремниевой кислоты уменьшается на 25%:

$$SiO_{3ост}^{2-} = 0,75 SiO_{3исх}^{2-}.$$

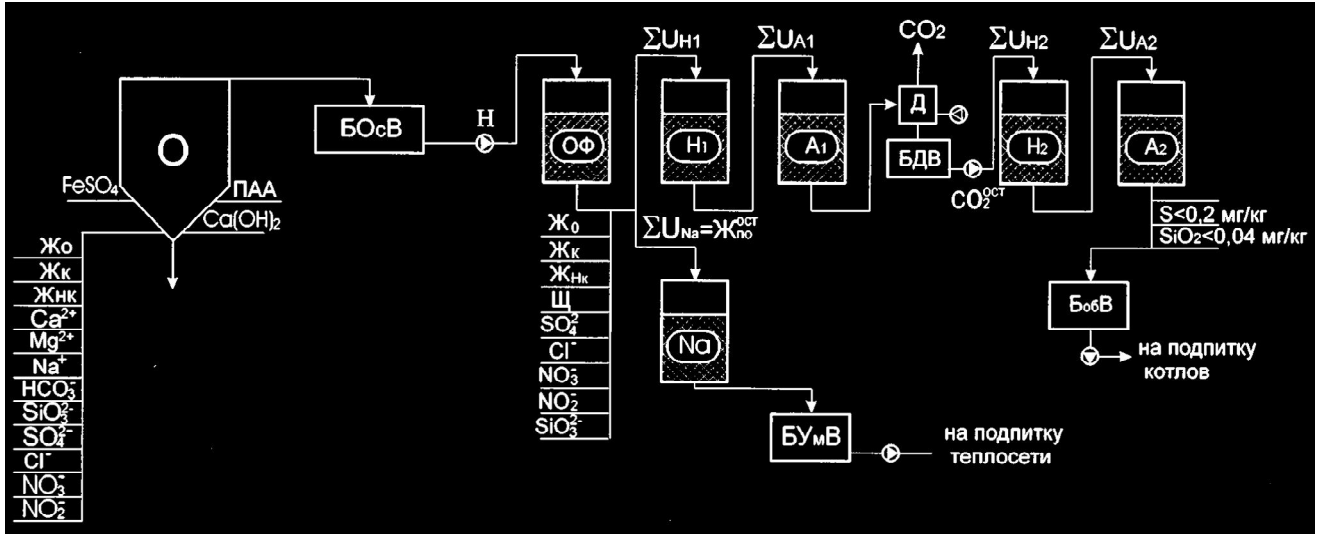


Рис. 2.5. Эскиз схемы ВПУ ТЭС

Предочистка – коагуляция FeSO₄ с известкованием. Остаточная жесткость:

$$Ж_{\text{к}}^{\text{ост}} = 0,7 \text{ мг-экв/кг}; Ж_{\text{нк}}^{\text{ост}} = Ж_{\text{нк}}^{\text{исх}} + K_{\text{Fe}},$$

где K_{Fe} – доза FeSO₄ для коагуляции, мг-экв/кг.

Щелочность остаточная:

$$Щ^{\text{ост}} = 0,7 + \alpha_{\text{изв}}, \text{ мг-экв/кг};$$

$\alpha_{\text{изв}}$ – избыток извести при известковании исходной воды, мг-экв/кг, $\alpha_{\text{изв}} = 0,3 - 0,4$ мг-экв/кг.

Концентрация SO_4^{2-} : $\text{SO}_4^{2-} = \text{SO}_{4\text{исх}}^{2-} + K_{\text{Fe}}$, мг-экв/кг.

Концентрация Cl^- не изменяется.

Концентрация $\text{SiO}_{3\text{ост}}^{2-} = 0,6\text{SiO}_{3\text{исх}}^{2-}$

Первая ступень Н-катионирования (H₁). Жесткость воды после H₁ составляет 0,2 + 0,3 мг-экв/кг.

Кислотность равна сумме анионов сильных кислот:

$$(\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{NO}_3^-)_{\text{исх}} + K_{\text{Al(Fe)}}, \text{ мг-экв/кг}.$$

В этом фильтре удаляются катионы Ca²⁺, Mg²⁺ и Na⁺ в количестве $Ж_{\text{о}}^{\text{ост}} + 2,15\text{Na}^+$, мг-экв/кг, где $Ж_{\text{о}}^{\text{ост}}$ – остаточная жесткость после предочистки.

Первая ступень анионирования A₁ (слабоосновное анионирование). Щелочность воды после фильтра A₁ – 0,2 мг-экв/кг.

Фильтр A₁ удаляет из воды анионы сильных кислот в количестве, определяемом по формуле

$$(\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{NO}_3^-)_{\text{исх}} + K_{\text{Al(Fe)}}.$$

Декарбонизатор. Остаточная концентрация CO₂ после декарбонизатора 3...10 мг/кг, Э_{CO₂} = 44 экв.

Вторая ступень Н-катионирования (H₂). Кислотность после H₂ не выше 0,05 мг-экв/кг. В H₂ удаляются катионы в количестве 0,2...0,3 мг-экв/кг.

Вторая ступень анионирования A_2 (сильноосновное анионирование). При двухступенчатом обессоливании A_2 удаляет в основном $\text{SiO}_{3\text{ост}}^{2-}$ и $\text{CO}_{2\text{ост}}$ после декарбонизатора в количестве $\text{SiO}_{3\text{ост}}^{2-} + \text{CO}_{2\text{ост}}$, мг-экв/кг.

Качество обессоленной воды после A_2 в схеме двухступенчатого химобессоливания:

- солесодержание – не более 0,2 мг/кг;
- кремниевая кислота – не более 0,04 мг/кг.

При упрощенном обессоливании A_2 удаляет из воды анионы всех кислот, оставшиеся после предочистки:

$$(\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{NO}_3^-)_{\text{исх}} + K_{\text{Al(Fe)}} + \text{SiO}_{3\text{ост}}^{2-}, \text{ мг-экв/кг.}$$

Качество обессоленной воды после A_2 в схеме упрощенного обессоливания:

- солесодержание – 0,5...5 мг/кг;
- кремниевая кислота – 0,1...0,3 мг/кг.

Фильтр смешанного действия (ФСД). В схеме трехступенчатого химического обессоливания ФСД глубоко удаляет из воды катионы и анионы.

Качество воды после фильтрования:

- солесодержание – не более 0,1 мг/кг;
- кремниевая кислота – не более 0,03 мг/кг.

Полное описание технологических процессов должно включать подробное изложение каждого этапа обработки исходной воды, начиная с предочистки (применяемые реагенты, материалы загрузки фильтров, реакции, протекающие при работе и регенерации и т.д.).

2.3.5. Определение производительности ВПУ

Как известно, водоподготовительная установка (ВПУ) предназначена для восполнения потерь пара, конденсата, питательной воды в основном цикле ТЭС и сетевой воды в теплосетях.

При расчете производительности ВПУ для приготовления добавочной питательной воды для конденсационных электростанций и отопительных ТЭЦ учитывается, что при номинальной паропроиз-

водительности устанавливаемых котлов внутристанционные потери пара и конденсата не должны превышать 2 %.

Общее значение потерь пара и конденсата для АЭС, оборудованных реакторами типа ВВЭР, не должно превышать 1%, а для АЭС, оборудованных реакторами типа РБМК, – 0,5% паропроизводительности блоков. Для электростанций с прямоточными котлами расчетную производительность ВПУ увеличивает для блоков мощностью 200, 250 и 300 МВт – на 25 т/ч, 500 МВт – 50 т/ч и 800 МВт – на 75 т/ч; для ТЭС с барабанными котлами и АЭС с реакторами типа ВВЭР – на 25 т/ч.

При использовании пара на разогрев мазута без возврата конденсата расчетное значение потерь для газомазутных станций принимается равным 0,15 т на 1 т сжигаемого мазута.

Для ТЭЦ с отпуском пара на производство производительность ВПУ увеличивается, исходя из покрытия потерь конденсата на производстве с 50%-м запасом на невозврат конденсата. В расчете производительности ВПУ учитываются также потери с непрерывной продувкой барабанных котлов. Величина продувки принимается в пределах 0,5 – 1%.

Пример. Производительность ВПУ ТЭЦ с тремя парогенераторами $E_n = 670 - 13,8$ (продувка 0,8 %) и расходом мазута $B = 40$ т/ч составит:

$$Q^{\text{ВПУ}} = 0,02 \sum D \cdot n + 0,008 \sum D \cdot n + 0,15B \cdot n + 25,$$

где D – паропроизводительность котла, т/ч;

n – количество котлов, установленных на ТЭЦ.

$$Q_{\text{обес.}}^{\text{ВПУ}} = 40,2 + 16,8 + 18 + 25 = 99,3 \text{ т/ч.}$$

При расчете производительности ВПУ подпитки теплосети учитываем, что в закрытых системах теплоснабжения расчетный часовой расход подпиточной умягченной деаэрированной воды принимается равным 2 % объема воды в трубопроводах тепловых сетей и присоединенных к ним местных систем потребителей.

Пример. Для трех турбоустановок Т-180/210-130 производительность схемы умягчения составит:

$$Q_{\text{ум}}^{\text{ВПУ}} = 2\% \sum G_{\text{с.в}} \cdot n,$$

где $G_{\text{с.в}}$ – количество сетевой воды, поступающей в сетевые подогреватели турбины Т-180/210-130, равное $6000 - 7800 \text{ м}^3/\text{г}$;

n – количество турбин, установленных на ТЭЦ.

Подпитка тепловых сетей составит:

$$Q_{\text{ум}}^{\text{ВПУ}} = 7500 \cdot 3 \cdot 0,02 = 450 \text{ м}^3/\text{г}.$$

2.3.6. Методика расчета ВПУ

При проектировании ВПУ необходимо принимать минимальное количество оборудования за счет его высокой единичной производительности.

Расчет схемы водоподготовительной установки начинают с конца технологического процесса. Например, если необходимо рассчитать схему двухступенчатого химического обессоливания воды, то расчет начинают с анионитных фильтров второй ступени. Для определения числа и размеров фильтров необходимо знать количество и качество воды, поступающей на данную группу фильтров.

Количество воды определяется суммой производительности установки и расхода воды на собственные нужды последующих групп фильтров. Расчет выполняется в следующей последовательности.

Расчет ионитных фильтров. Необходимая площадь фильтрования определяется по формуле

$$F = \frac{Q}{v}, \text{ м}^2,$$

где Q – производительность фильтров без учета расхода воды на их собственные нужды, $\text{м}^3/\text{ч}$;

v – скорость фильтрования, которая должна быть не выше 20 м/ч в анионитных фильтрах 1-й ступени; в ФСД с внутренней регенерацией – 50 м/ч ; в ФСД с выносной регенерацией – 100 м/ч ; в остальных фильтрах – $20 - 30 \text{ м/ч}$.

Число установленных фильтров m одинакового диаметра принимается не менее трех.

Необходимая площадь фильтрования каждого фильтра

$$f = \frac{F}{m}, \text{ м}^2.$$

По вычисленной площади определяется диаметр фильтра и по табл. П1 принимается ближайший больший стандартный фильтр. Затем площадь фильтра пересчитывается с учетом изменения диаметра:

$$f_{\text{ст}} = \frac{\pi d_{\text{ст}}^2}{4}.$$

Продолжительность фильтроцикла каждого из $(m - 1)$ фильтров, т.е. при одном резервном или ремонтном, определяется по формулам:

$$T_{\text{и}} = \frac{f_{\text{ст}} h e_p (m - 1)}{Q \sum U}, \quad T_{\text{ФСД}} = \frac{10^4 f_{\text{ст}} (m - 1)}{Q},$$

где $T_{\text{и}}$ – полезная продолжительность фильтроцикла, ч;

$\sum U$ – суммарное содержание катионов или анионов в воде, поступающей на фильтры, мг-экв/л (г-экв/м³);

Q – производительность рассчитываемых фильтров, м³/ч;

h – высота слоя ионита, м;

$f_{\text{ст}}$ – сечение фильтра, м² (стандартного);

m – число установленных фильтров одинакового диаметра;

e_p – рабочая обменная емкость ионита, г-экв/м³ (табл. П2).

Продолжительность фильтроцикла должна быть не менее 8 ч. Если данное условие не соблюдается, то перезадаются количеством фильтров. Количество регенераций в сутки:

$$n = \frac{24}{T + t},$$

где t – продолжительность операций, связанных с регенерацией фильтров, равная 1,5...2 ч – для ионитных фильтров и 3...4 ч – для ФСД.

Объем ионитных материалов, загруженных во влажном состоянии:

$$V_{\text{вл}} = f_{\text{ст}} h, \text{ м}^3 \quad - \text{ в один фильтр};$$

$$\sum V_{\text{вл}} = f_{\text{ст}} hm, \text{ м}^3 \quad - \text{ в группу фильтров.}$$

Расход воды на собственные нужды рассчитываемой группы фильтров:

$$g_{\text{сн}} = \frac{\sum V_{\text{вл}} p_{\text{и}} n}{24}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где $p_{\text{и}}$ – удельный расход воды на собственные нужды ионитных фильтров, $\text{м}^3/\text{м}^3$ ионита (табл. П3).

Расход химических реагентов (H_2SO_4 , NaOH , NaCl) на регенерацию одного фильтра:

$$G_{\text{р}}^{100} = b \cdot V_{\text{вл}}, \text{ кг} \quad \text{или} \quad G_{\text{р}}^{100} = \frac{b' \cdot e_{\text{р}} \cdot V_{\text{вл}}}{10^3}, \text{ кг}.$$

Расход технического продукта:

$$G_{\text{р}}^{\text{техн}} = \frac{G_{\text{р}}^{100} \cdot 10^2}{C}, \text{ кг},$$

где b, b' – удельный расход химреагентов соответственно в $\text{кг}/\text{м}^3$ и $\text{г}/\text{г-экв.}$ (см. табл. П2);

C – содержание активно действующего вещества в техническом продукте, % ($C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 75\%$; $C_{\text{NaOH}} = 42\%$; $C_{\text{NaCl}} = 95\%$).

Суточный расход воды, который должен быть подан на следующую рассчитываемую группу ионитных фильтров:

$$Q_{\text{бр}} = Q + g_{\text{сн}}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

После расчета всех групп ионитных фильтров, включая Накатионитовые фильтры подпитки теплосети, приступают к расчету осветлительных фильтров.

Расчет осветлительных фильтров. Необходимая площадь фильтрования определяется по формуле

$$F_o = \frac{Q_o}{v_o}, \text{ м}^2,$$

где Q_o – производительность осветлительных фильтров, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$$Q_o = Q_{\text{H}_1}^{\text{бр}} + Q_{\text{Na}}^{\text{бр}};$$

v_o – скорость фильтрования принимается 5...10 м/ч.

Число устанавливаемых фильтров m_o рекомендуется принимать не менее трех. Необходимая площадь фильтрования каждого фильтра:

$$f_o = \frac{F_o}{m_o}, \text{ м}^2.$$

По площади f_o определяется диаметр фильтра и по справочным данным принимается ближайший больший стандартный фильтр (см. табл. П1).

Расход воды на взрыхляющую промывку каждого осветлительного фильтра:

$$g_{\text{взр}} = \frac{if_{o\text{ст}} t_{\text{взр}} 60}{10^3}, \text{ м}^3,$$

где $f_{o\text{ст}}$ – сечение осветлительного фильтра, м^2 ;

i – интенсивность взрыхления фильтра, загруженного антрацитом, 12 л/(с· м^2);

$t_{\text{взр}}$ – продолжительность взрыхления (5 – 10 мин).

Расход воды на отмывку осветлительного фильтра (спуск первого фильтра в дренаж):

$$g_{\text{отм}} = \frac{f_{o\text{ст}} v_o t_{\text{отм}}}{60}, \text{ м}^3,$$

где v_o – скорость фильтрования, м/ч;

$t_{\text{отм}}$ – продолжительность отмывки (10 мин).

$$g_o = \frac{(g_{\text{взр}} + g_{\text{отм}})m_o n_o}{24}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где m_o – число осветлительных фильтров;

n_o – число промывок каждого фильтра в сутки (1 – 3).

Производительность брутто с учетом расхода воды на промывку осветлительных фильтров:

$$Q_o^{\text{бр}} = Q_o + g_o, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Действительная скорость фильтрования во время выключения одного фильтра на промывку (при работе $(m_o - 1)$ фильтров):

$$v_{m_o-1} = \frac{Q_o^{\text{бр}}}{(m_o - 1)f_{\text{ост}}}, \text{ м}/\text{ч}.$$

Если скорость v_{m_o-1} больше максимально допустимой, то предусматривается резервный фильтр.

Расчет осветлителей. Суммарная производительность осветлителей принимается равной 110 % расчетного расхода осветленной воды, при этом устанавливается не менее двух осветлителей.

Емкость каждого из двух осветлителей определяется по формуле

$$V_{\text{осв}} = \frac{1,1Q_o^{\text{бр}}\tau}{2}, \text{ м}^3,$$

где $Q_o^{\text{бр}}$ – полная производительность всей установки, $\text{м}^3/\text{ч}$;

τ – продолжительность пребывания воды в осветлителе 1 – 1,5 ч.

По $V_{\text{осв}}$ выбирается ближайший по емкости серийный осветлитель (табл. П4).

Необходимое количество реагентов при проведении коагуляции и известкования подсчитывается следующим образом.

Расход коагулянта $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ или FeCl_3 в сутки:

$$G_{\text{к}} = \frac{24Q_0^{\text{бр}} \mathcal{E}_{\text{к}} K_{\text{Al(Fe)}}}{10^3}, \text{ кг/сут},$$

где $G_{\text{к}}$ – расход безводного 100 %-го коагулянта, кг/сут;

$\mathcal{E}_{\text{к}}$ – эквивалент безводного коагулянта:

$$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 - 57,02; \text{FeSO}_4 - 75,16; \text{FeCl}_3 - 54,07;$$

$K_{\text{Al(Fe)}}$ – доза коагулянта, мг-эquiv/кг.

Расход технического коагулянта в сутки:

$$G_{\text{к}}^{\text{max}} = \frac{G_{\text{к}} 10^2}{C}, \text{ кг/сут},$$

где C – процентное содержание коагулянта $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 в техническом продукте:

$$C_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = 88,5\%;$$

$$C_{\text{FeSO}_4} = 47...53\%.$$

Расход полиакриламида (ПАА) в сутки:

$$G_{\text{ПАА}} = \frac{24Q_0^{\text{бр}} d_{\text{ПАА}}}{10^3}, \text{ кг/сут},$$

где $G_{\text{ПАА}}$ – расход полиакриламида, кг/сут;

$d_{\text{ПАА}}$ – доза полиакриламида, равная 0,2 – 1,8 мг/кг.

Расход извести (в виде $\text{Ca}(\text{OH})_2$):

$$G_{\text{изв}} = \frac{24 \cdot 37,05 Q_0^{\text{бр}} d_{\text{изв}}}{10^3}, \text{ кг/сут},$$

где $G_{\text{изв}}$ – суточный расход извести, кг/сут;

37,05 – эквивалент $\text{Ca}(\text{OH})_2$;

$d_{\text{изв}}$ – доза извести, мг-экв/кг.

$$d_{\text{изв}} = \mathcal{J}_0^{\text{исх}} + \mathcal{J}_{\text{Mg}}^{\text{исх}} + K_{\text{Al(Fe)}} + \alpha_{\text{изв}}, \text{ мг-экв/кг}.$$

Расчет и выбор декарбонизатора

Исходными данными при расчете декарбонизатора являются производительность, определяемая местом включения декарбонизатора в схему ВПУ, концентрация CO_2 на входе и выходе из декарбонизатора, температура обрабатываемой воды.

Концентрация CO_2 , мг/кг, на входе в декарбонизатор для схем в отсутствие известкования определяется по соотношению

$$C_{\text{CO}_2}^{\text{вх}} = 0,268 \mathcal{J}_6^3 + 44 \mathcal{J}_6,$$

где \mathcal{J}_6 – щелочность бикарбонатная после предочистки.

Концентрация CO_2 на входе в декарбонизатор в схемах предочистки известкования с коагуляцией рассчитывается с учетом удаления CO_2 исходной воды при известковании и остаточных бикарбонатной и карбонатной щелочностей и соответствующих мольных масс и эквивалентов. Для рассмотрения условий концентрация CO_2 перед декарбонизатором равна:

$$C_{\text{CO}_2}^{\text{вх}} = 44 \mathcal{J}_6^{\text{ост}} + 22 \mathcal{J}_k^{\text{ост}}, \text{ мг/кг}.$$

Количество CO_2 , удаленного в декарбонизаторе,

$$\sigma_{\text{CO}_2}^{\text{вх}} = Q_{\text{д}} (C_{\text{CO}_2}^{\text{вх}} - C_{\text{CO}_2}^{\text{вых}}) / 10^3, \text{ кг/г},$$

где Q_d – расчетная производительность декарбонизатора (выбирается в зависимости от компоновки ВПУ и места расположения его в схеме). При блочной компоновке расход воды на декарбонизатор делят на количество цепочек; значение $C_{CO_2}^{ВЫХ}$ принимается с учетом п. 2.3.4.

Необходимая площадь десорбции при температуре 30°C (с учетом коэффициента десорбции $K_{ж} = 0,50 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ и средней движущей силы десорбции $\Delta C_{CO_2}^{CP} = 0,015 \text{ кг/м}^3$:

$$F_{дес} = \sigma_{CO_2} / (K_{ж} \Delta C_{CO_2}^{CP}), \text{ м}^2.$$

Площадь требуемой поверхности насадки

$$F_{нас} = (1 - 0,075) F_{дес}, \text{ м}^2.$$

Объем насадки определяется по формуле

$$V_{нас} = F_{нас} / f_{кр}, \text{ м}^3,$$

где $f_{кр}$ – удельная поверхность колец Рашига; $f_{кр} = 206 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Площадь поперечного сечения декарбонизатора при плотности орошения $\delta = 60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ определяется по формуле

$$f_d = Q_d / \delta, \text{ м}^2.$$

Диаметр декарбонизатора:

$$d_d = \sqrt{4f_d / \pi}, \text{ м.}$$

Высота насадки колец Рашига

$$h_{нас} = V_{нас} / f_d, \text{ м.}$$

Расход воздуха на декарбонизацию воды:

$$Q_{\text{возд}} = 40Q^{\text{д}}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Выбор конкретного типа декарбонизатора производят по табл. П5.
Анализ результатов расчета ВПУ. Анализ результатов расчета включает следующие таблицы:

1. Состав выбранного оборудования – табл. 2.6.

Таблица 2.6

№ п/п	Наименование оборудования	Тип	Количество	Основные характеристики
1				
2				

2. Суточный расход технического реагента – табл. 2.7.

Таблица 2.7

Реагент, кг/сут	H_1	A_1	H_2	A_2	ФСД	Na
H_2SO_4		-		-		-
NaOH	-		-			-
NaCl	-	-	-	-	-	

Суммарный расход: H_2SO_4 –
NaOH –
NaCl –
извести –
коагулянта –
флокулянта –

3. Расход фильтрующих материалов – табл. 2.8.

Таблица 2.8

Фильтрующий материал, м ³	H_1	A_1	H_2	A_2	ФСД	Na	ОФ
Катионит		-		-	/		-
Анионит: низкоосновный	-		-	-	-	-	-
высокоосновный	-	-	-		/	-	-
Дробленый антрацит	-	-	-	-	-	-	

4. Расход воды на собственные нужды фильтров – табл. 2.9.

Таблица 2.9

Расход воды, м ³ /ч	H_1	A_1	H_2	A_2	ФСД	Na	ОФ

Суммарный расход воды на собственные нужды водоподготовительной установки:

- 1 – по ионообменной части;
- 2 – по предочистке.

2.3.7. Компоновка оборудования ВПУ

При проектировании комплекса ВПУ предусматривается максимальная его блокировка со складскими помещениями и очистными сооружениями, а также возможность дальнейшего расширения с учетом подвода реагентов без промежуточной перегрузки.

На крупных ТЭС водоподготовительные установки обычно выносятся в отдельное здание либо размещаются в здании объединенного вспомогательного корпуса. Отдельное здание ВПУ удобнее располагать со стороны постоянной торцевой стены главного здания ТЭС. Торцовая нерасширяемая часть здания водоподготовки выполняется обычно в виде трех- или четырехэтажной башни, предназначенной для установки промывочных баков, химической лаборатории, служебных и бытовых помещений.

Для регенерации ионитных фильтров ВПУ располагает реагентным хозяйством, которое включает склады для хранения химических реагентов, оборудование для приготовления и подачи регенерационных растворов.

Для хранения кислот и щелочей устанавливается не менее чем по две емкости для каждого реагента с учетом месячного запаса. Из складских баков реагенты поступают в баки-мерники, оттуда насосами-дозаторами или эжекторами подаются на регенерацию фильтров. Сточные воды ВПУ поступают либо в баки-нейтрализаторы, либо в схемы их утилизации.

Компоновка оборудования должна учитывать возможность дальнейшего расширения установки. При компоновке основного оборудования ВПУ должны быть обеспечены: удобное расположение аппарата, облегчающее работу обслуживающего персонала; полное использование помещения, вентиляция, возможность хорошего естественного освещения.

Осветители, декарбонизаторы, громоздкие баки располагаются, как правило, на открытом воздухе с применением в необходимых случаях обогрева и теплоизоляции.

По способу подключения ионитных фильтров в схемах обессоливания различают коллекторный (параллельный) и блочный (цепочки) принципы их соединения (рис. 2.6, 2.7).

При коллекторном способе включения ионитных фильтров исходная вода из общего коллектора параллельными потоками подается к каждому фильтру данной ступени. Фильтрат после фильтров также собирается в общий коллектор и поступает на группу фильтров следующей ступени. Таким образом, ионитные фильтры в схеме соединены параллельно, а ступени обессоливания – последовательно. В коллекторных схемах отдельный фильтр автономен, т.е. его состояние (работа – резерв – регенерация) не определяет состояние группы однородных фильтров. Группа фильтров ступени обрабатывает воду непрерывно, а отдельный фильтр – периодически. Число работающих фильтров в ступени можно изменять в зависимости от требуемой производительности. Частота регенераций отдельных фильтров непосредственно не связана с частотой регенерации в разных ступенях и определяется ионным составом обрабатываемой воды. Схема универсальна, хорошо адаптируется к изменениям состава воды и производительности, надежность ее достаточно высо-

кая, экономична по количеству оборудования и расходу ионита, имеет более простые алгоритмы управления, но расход химических реагентов на регенерацию значительно выше, чем в блочной схеме, и при автоматизации требует большого количества датчиков химического контроля.

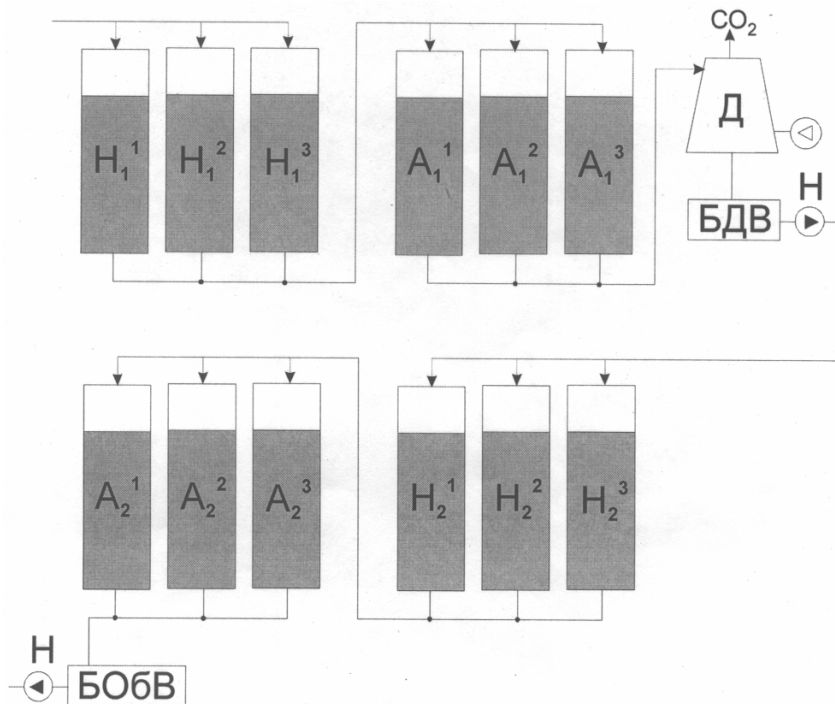


Рис. 2.6. Схема коллекторного (параллельного) подключения ионитных фильтров

При блочном способе включения в состав каждого блока (цепочки) входит по одному фильтру соответствующей ступени ионирования, что обеспечивает полный цикл обработки воды по выбранной схеме. В данном случае каждый отдельный фильтр не является самостоятельным и блок работает периодически, имея три основных состояния: работа – резерв – регенерация (все фильтры действуют одновременно). ФСД в цепочку не включают. Количество цепочек согласно расчету ВПУ увеличивают на одну резервную.

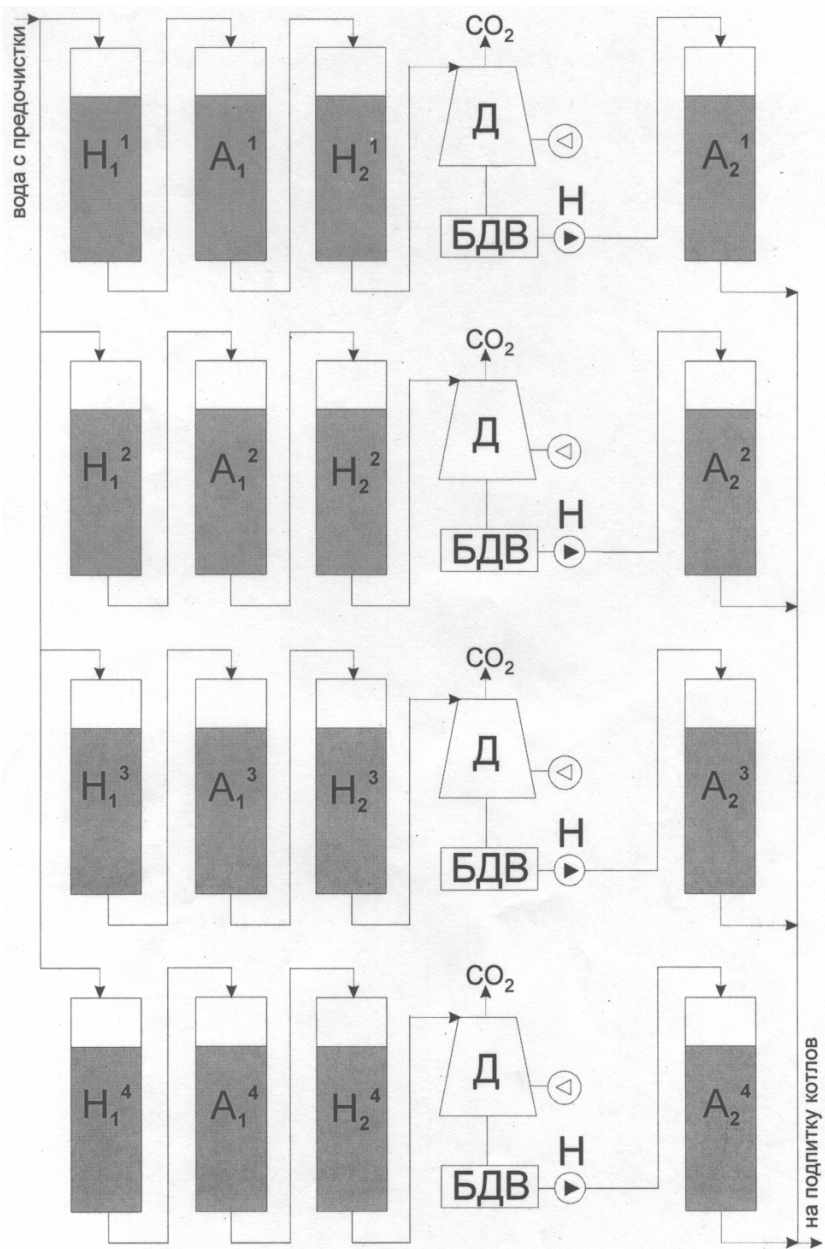


Рис. 2.7. Схемы подключения ионитных фильтров

Схема не может адаптироваться к значительному изменению показателей качества воды. Надежность цепочки определяется наименее надежным узлом, общее число оборудования значительно больше, чем в коллекторной схеме ВПУ. При разработке систем автоматизированного управления имеет место сложный алгоритм управления работой фильтров. К достоинствам блочных схем можно отнести упрощение контроля за качеством воды, снижение расхода реагентов на регенерацию и воды на собственные нужды за счет проведения совместных регенераций одноименных фильтров первой и второй ступени. Обе схемы имеют области оптимального применения, и вопрос о выборе способа подключения фильтров в каждом конкретном случае решается отдельно. Однако при производительности ВПУ свыше 400 м³/ч предпочтение отдадут блочной схеме.

2.4. Специальное задание № 1. Водно-химический режим ТЭС

2.4.1. Задачи организации ВХР ТЭС

Основной задачей водно-химического режима (ВХР) каждой ТЭС является обеспечение работы теплосилового оборудования (основного и вспомогательного) без повреждений и снижения экономичности, которые могут быть вызваны следующими причинами:

- образованием отложений на поверхностях нагрева котлов, в проточной части турбин, на поверхностях трубок конденсаторов и т.д.;
- образованием и накоплением шлама в котловой воде, тракте питательной воды, в тепловых сетях;
- коррозией внутренних поверхностей теплоэнергетического оборудования.

Для предотвращения перечисленных выше негативных явлений на ТЭС предусматривается организация целого ряда технических мероприятий, объединенных общим понятием "водно-химический режим". Внедрению конкретного водно-химического режима (т.е. комплексу технических мероприятий) на ТЭС предшествует проведение экспериментальных и наладочных работ, цель которых – определить оптимальные условия для его осуществления.

При выборе водно-химического режима для конкретной ТЭС принимают во внимание:

- тип парового котла;
- параметры рабочей среды;
- паропроизводительность;
- вид топлива;
- теплонапряжение парогенерирующей поверхности нагрева;
- наличие или отсутствие промежуточного перегрева пара;
- требования к качеству перегретого пара и т.д.

Правильно выбранный и грамотно реализованный ВХР позволяет строго соблюдать установленные нормы качества питательной и котловой воды, перегретого пара, что в свою очередь гарантирует обеспечение безаварийной работы теплоэнергетического оборудования (по крайней мере в период между капитальными ремонтами).

Эти нормы приведены в "Правилах технической эксплуатации электрических станций и тепловых сетей" (ПТЭС) конкретно для каждого типа котлов, эксплуатируемых в энергосистеме, а также для подпиточной воды тепловых сетей. Для эксплуатационного персонала электростанций они являются законом.

Согласно ПТЭС нормирование водного режима котлов барабанного типа включает в себя нормы качества перегретого пара (табл. 2.10), питательной (табл. 2.11) и котловой (табл. 2.12) воды [3].

Таблица 2.10

Нормируемый показатель	Давление, МПа			Примечание
	до 4,0	4,0-10,0	более 10,0	
Соединения натрия, мкг/кг	60	15	10	ГРЭС и отопительные ТЭС
	100	25	15	
Кремниевая кислота, мкг/кг	-	15*	15	Для ГРЭС. Для ТЭС всех типов
	-	25*	25	

* Начиная с давления 7,0 МПа.

Таблица 2.11

Нормируемый показатель	Давление, МПа			Примечание
	до 4,0	4,0-10,0	более 10,0	
Общая жесткость, мкг-экв/кг	5 10	3 5	1 1	На жидком топливе На других видах топлива
Содержание кремния, мкг/кг	-	80* По данным испытаний	40 120	ГРЭС и отопительные ТЭЦ, ТЭЦ с производственным отбором пара
Содержание кислорода за деаэратором, мкг/кг	20	20	10	-
Соединения железа, мкг/кг	100 200	50 100	20 30**	На жидком топливе. На других видах топлива
Соединения меди, мкг/кг	10*** 20***	10 20	5 5	На жидком топливе. На других видах топлива
Содержание масел и нефтепродуктов, мкг/кг	1	0,3	0,3	-
Содержание гидразина, мкг/кг	20-60****			Перед экономайзером
рН (при 25°С)	9,1 ± 0,1			-
Свободная СО ₂	Отсутствует			-
Аммиак, мкг/кг	1000			-
Нитраты и нитриты, мкг/кг	20			Для давления более 6,0 МПа
Нитриты, мкг/кг	20			Для давления менее 6,0 МПа
Свободный сульфит, мг/кг	2			При сульфитировании

* Начиная с давления 7,0 МПа.

** Для давления более 14,0 МПа – 20 мкг/кг.

*** Нормируется, начиная с давления 3,0 МПа.

**** В периоды пуска и останова по условиям пассивации допускается более высокое содержание, но не превышающее 3000 мкг/кг.

Таблица 2.12

Показатель качества котловой воды	Схема		Относительная щелочность	Примечание
	без ступенчатого испарения	со ступенчатым испарением		
		чистый отсек		
Избыток PO_4^{3-} , мг/кг	5-15	2-6	< 30 < 50	≤ 20 На жидком топливе. На остальных видах топлива
Показатель рН	9,5-10,4	≥ 9,3	≤ 10,7	-

Нормирование водного режима котлов прямоточного типа производится по нормам качества перегретого пара (табл. 2.13) и питательной воды (табл. 2.14) [5, 6].

Таблица 2.13

Нормируемый показатель	Значение
Соединения натрия (в пересчете на Na), мкг/кг не более	5
Кремниевая кислота (в пересчете на SiO_2), мкг/кг, не более	15
Удельная электрическая проводимость Н-катионированной пробы, мкСм/см, не более	0,3
Значение рН, не менее	7,5*

* При окислительных режимах допустимо значение рН = 6,5.

Таблица 2.14

Показатель качества питательной воды	Водные режимы				
	гидразинно-аммиачный	комплексонный	гидразинный (без аммиака)	нейтральный* с дозированием	
				газообразного кислорода (воздуха)	раствора перекиси водорода
Общая жесткость, мкг-экв/кг	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см (10^{-4} См/м)	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Соединения натрия, мкг/кг	5	5	5	5	5
Соединения железа, мкг/кг	10	10	10	10	10
Соединения меди, мкг/кг	5	5	5	5	5
Растворенный кислород, мкг/кг	10	10	10	200-400**	200-400***
Кремниевая кислота, мкг/кг	15	15	15	15	15
рН	9,1±0,1****	9,1±0,1****	7,7 ± 0,2	6,9-7,3*****	6,9-7,3*****
Избыток гидразина, мкг/кг	20-60	20-60	по рН	-	-
Концентрация ЭДТК, мкг/кг	-	60-80*****	-	-	-
Масло	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы

* Только при ПНД с трубками из коррозионно-стойкой стали

** Вводится в турбинный конденсат.

*** В пересчете на O₂.

**** За счет дозирования аммиака в питательную воду, но не более 1000 мкг/кг.

***** За счет подбора соотношения катионита и анионита в БОУ или дозирования аммиака после БОУ.

***** Уточняется расчетом, исходя из стехиометрических соотношений по составу питательной воды.

К основным мероприятиям по поддержанию нормируемых показателей водно-химического режима энергоблоков ТЭС относятся: предпусковые промывки оборудования; постоянная продувка котлов при установившихся режимах и усиленная продувка во время переходных режимов; фосфатирование котловой воды (для котлов барабанного типа) или трилонирование питательной воды; проведение эксплуатационных промывок оборудования; консервация оборудования во время простоев; герметизация баков питательной воды и ее составляющих в целях предотвращения попадания кислорода в пароводяной цикл; обессоливание и обескремнивание добавочной воды; удаление свободной угольной кислоты из добавочной химически обработанной воды; обезжелезивание и обессоливание основного конденсата турбин и других конденсатов в случае необходимости; деаэрация турбинного конденсата и питательной воды (исключая режимы с дозировкой кислородсодержащих соединений); оснащение конденсаторов специальными дегазирующими устройствами в целях удаления кислорода из конденсата; обеспечение достаточной герметичности конденсаторов турбин со стороны охлаждающей воды и воздуха; постоянный вывод неконденсирующихся газов из паровых камер теплообменников; тщательное уплотнение конденсатных насосов, арматуры и фланцевых соединений трубопроводов, находящихся под разрежением; антикоррозионное покрытие оборудования и применение коррозионно-стойких материалов; введение в пароводяной цикл корректирующих химических реагентов, соответствующих данному водно-химическому режиму; автоматическая дозировка добавок, корректирующих водный режим.

Нормы качества питательной воды водотрубных котлов с рабочим давлением пара до 4 МПа (40 кгс/см^2) приведены в табл. 2.15, а с рабочим давлением 10 МПа – в табл. 2.16.

Нормы качества воды для подпитки тепловых сетей и сетевой воды приведены в табл. 2.17 [3].

Таблица 2.15

Показатель	Рабочее давление, МПа (кгс/см ²)			
	0,9(9)	1,4(14)	2,4(24)	4(40)
Прозрачность по шрифту, см, не менее	30	40	40	40
Общая жесткость, мкг-экв/кг	$\frac{30^{**}}{40}$	$\frac{15^{**}}{20}$	$\frac{10^{**}}{15}$	$\frac{50^{**}}{10}$
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг	Не нормируется	$\frac{300^*}{\text{Не нормируется}}$	$\frac{100^{**}}{200}$	$\frac{50^{**}}{100}$
Содержание соединений меди (в пересчете на Cu), мкг/кг	Не нормируется			$\frac{10^*}{\text{Не нормируется}}$
Содержание растворенного кислорода (для котлов с паропроизводительностью 2 т/ч и более) ^{**} , мкг/кг	$\frac{50^*}{100}$	$\frac{30^*}{50}$	$\frac{20^*}{50}$	$\frac{20^*}{30}$
Значение pH при 25°C ^{***}	8,5-10,5			
Содержание нефтепродуктов, мг/кг	5	3	3	0,5

* В числителе указаны значения для котлов, работающих на жидком топливе, в знаменателе – на других видах топлива.

** Для котлов, не имеющих экономайзеров, и для котлов с чугунными экономайзерами содержание растворенного кислорода допускается до 100 мкг/кг при сжигании любого вида топлива.

*** В отдельных случаях, обоснованных головной специализированной ведомственной организацией, может быть допущено снижение значения pH до 7,0.

Таблица 2.16

Показатель	Для котлов, работающих		Показатель	Для котлов, работающих	
	на жидком топливе	на других видах топлива		на жидком топливе	на других видах топлива
Общая жесткость, мкг-экв/кг	1	3	Содержание растворенного кислорода, мкг/кг	10	10
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг	20	30	Значение pH* при 25°C	9,1±0,1	9,1±0,1
Содержание соединений меди (в пересчете на Cu), мкг/кг	5	5	Содержание нефтепродуктов, мкг/кг	0,3	0,3

* При восполнении потерь пара и конденсата химически очищенной водой допускается повышение значения pH < 10,5.

Таблица 2.24

Показатель	Система теплоснабжения					
	открытая			закрытая		
	Температура сетевой воды, °С					
	115	150	200	115	150	200
1	2	3	4	5	6	7
Прозрачность по шрифту, см, не менее	40	40	40	30	30	30
Карбонатная жесткость: при pH не более 8,5 при pH более 8,5	$\frac{800^*}{700}$	$\frac{750^*}{600}$	$\frac{375^*}{300}$	$\frac{800^*}{700}$	$\frac{750^*}{600}$	$\frac{375^*}{300}$
	Не допускается			По расчету ОСТ 108.030.47-81		

1	2	3	4	5	6	7
Содержание растворенного кислорода, мкг/кг	50	30	20	50	30	20
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг	300	$\frac{300^*}{250}$	$\frac{250^*}{200}$	$\frac{600^*}{500}$	$\frac{500^*}{400}$	$\frac{375^*}{300}$
Значение pH при 25 °С	От 7,0 до 8,5			От 7,0 до 11,0**		
Содержание нефтепродуктов, мкг/кг	< 1,0					

* В числителе указаны значения для котлов, работающих на твердом топливе, в знаменателе – на жидком и газообразном топливе.

** Для теплосетей, в которых водогрейные котлы работают параллельно с бойлерами, имеющими латунные трубки, верхнее значение pH сетевой воды не должно превышать 9,5.

В тепловых сетях с непосредственным разбором горячей воды (открытая система теплоснабжения) подпиточная вода дополнительно должна удовлетворять требованиям ГОСТ 2874-83 «Вода питьевая», а перманганатная окисляемость этой воды не должна превышать 5 мг/кг O₂. Присадка гидразина и других токсичных веществ в подпитывающую и сетевую воду строго запрещена.

При коррекционной обработке подпиточной воды силикатами их содержание не должно превышать 30 мг/кг в пересчете на SiO₂.

2.4.2. Методы коррекции котловой и питательной воды

К основным методам коррекции водного режима ТЭС с котлами барабанного типа относят: фосфатирование совместно с подщелачиванием едким натром котловой воды, амминирование и гидразинную обработку питательной воды. Каждый метод коррекции теплоносителя решает свою конкретную задачу.

Фосфатирование с подщелачиванием необходимо для того, чтобы создавать такие условия, при которых процессы кристаллизации и образования отложений в экранной системе котла имели бы минимальные скорости. Эта задача решается за счет перевода накипе-

образующих солей в шламовую форму с последующим их выводом из контура циркуляции с продувкой.

Амминирование питательной воды проводится для связывания свободной углекислоты в целях предупреждения углекислотной коррозии и коррекции величины рН.

Гидразинная обработка питательной воды в сочетании с термической деаэрацией является радикальной мерой предупреждения кислородной коррозии металла питательного тракта, пассивации латуни трубной системы подогревателей, снижения содержания продуктов коррозии в пароводяном тракте ТЭС.

В настоящее время достаточно широкое применение для коррекции теплоносителя находит хеламин. Его использование позволяет одновременно решать проблемы коррозии (включая стояночную) и отложений в конденсатно-питательном и водопаровом трактах. Использование хеламина позволяет исключить дозирование аммиака, гидразина, фосфатов, едкого натра.

По вопросу оптимального ВХР ТЭС с прямоточными котлами в мировой энергетике разногласий нет – это окислительный (кислородный) режим. Кроме кислорода используют воздух, перекись водорода. Ввод окислителя допускается в конденсатный или питательный тракт. Для реализации окислительного водного режима необходимо выполнение ряда требований:

- глубокая очистка турбинного конденсата ($\text{Fe} \leq 0,1$ мкг/см³);
- поддержание значения $\text{pH}_{25} \geq 7,0$;
- концентрация $\text{O}_2 \leq 100$ мкг/кг.

По вопросу оптимального ВХР барабанных котлов не только в мире, но и в отдельных энергосистемах нет единого мнения.

Так, в зарубежных странах котлы барабанного типа эксплуатируются в самых различных водных режимах:

- модифицированный фосфатный с малыми концентрациями фосфатов и избыточной гидратной щелочностью;
- бесфосфатные режимы: с дозированием и без дозирования в котловую воду NaOH;
- в США прошли испытания по применению кислородного (окислительного) режима.

2.4.3. Характеристика потоков конденсатов на ТЭС и схемы их очистки

Конденсаты являются основной и наиболее ценной составляющей частью питательной воды котлов любых давлений и производительности.

Конденсаты ТЭС можно подразделить на следующие основные группы:

- турбинные конденсаты – наиболее чистые, содержат лишь газы NH_3 , CO_2 , следы O_2 , незначительные количества продуктов коррозии (оксиды железа, меди, цинка). Температура турбинного конденсата – 25 ? 45°C.

- конденсаты пара регенеративных подогревателей низкого и высокого давлений, содержат продукты коррозии в несколько больших количествах, чем турбинные, температура порядка 50 – 100°C;

- конденсаты пара сетевых подогревателей, могут быть загрязнены солями (при неплотности трубок подогревателей), продуктами коррозии, температура порядка 80°C.

- внешние производственные конденсаты от технических потребителей могут быть загрязнены оксидами металлов, солями, газами и другими примесями в зависимости от вида производства.

Кроме того, на ТЭС имеют место конденсаты подогревателей сырой и химочищенной воды, дренажные конденсаты и т.д.

Сокращение потерь конденсата, предотвращение загрязнения, сбор, возврат на ТЭС и в случае необходимости очистка являются основными задачами персонала турбинного и химического цехов ТЭС. Для этой цели на всех тепловых станциях проектируются специальные конденсатоочистки.

На мощных блоках с прямоточными котлами очистка всего потока турбинного конденсата является обязательным мероприятием по поддержанию оптимального водного режима. За каждой турбиной такого блока устанавливают блочную обессоливающую установку (БОУ). На электростанциях с барабанными котлами БОУ предусматриваются при охлаждении конденсаторов циркуляционной водой с солесодержанием более 5000 мг/кг.

Очистка основного конденсата на БОУ осуществляется, как правило, в два этапа:

– очистка от механических примесей на осветлительных фильтрах диаметром 3,4 м, загруженных дробленным антрацитом или сульфогуглем;

– обессоливание и обескремнивание на фильтрах смешанного действия (ФСД) с выносной регенерацией со скоростью фильтрования до 100 м/ч.

В табл. 2.18 приведен состав основного оборудования БОУ энергоблоков различной мощности.

Таблица 2.18

№ п/п	Мощность энергоблоков, МВт	Оборудование	
		Осветлительные фильтры	ФСД
1	300	3	3
2	500	4	3
3	800	7	4
4	1200	8	5

Оборудование БОУ размещается в машинном зале. Фильтры komponуются в два яруса, что позволяет более полно использовать объем помещения. Характеристики оборудования БОУ представлены в табл. Пб.

Для ТЭС с прямоточными и барабанными котлами, работающими в режиме частых пусков и остановов, предусматривается обезжелезивание и обессоливание всех общестанционных загрязненных конденсатов на автономной конденсатоочистке производительностью 150 м³/ч для блоков мощностью свыше 200 МВт. Для обессоливания применяются ФСД с внутренней регенерацией при скорости фильтрования 50 м/ч.

Для очистки конденсатов от продуктов коррозии с учетом температуры конденсата применяют:

– механические, а также катионитные фильтры, загруженные сульфогуглем при температуре конденсата < 50°С, либо КУ-2 при температуре ≤ 100°С;

– электромагнитные аппараты;

– намывные ионитные фильтры;

– целлюлозные намывные фильтры.

Скорость фильтрования в намывных фильтрах – 10 м/ч, в механических и катионитных фильтрах – 50 м/ч.

Очистка конденсатов от нефтепродуктов осуществляется методом отстаивания в специальных емкостях и сорбцией в фильтрах, загруженных антрацитом, коксом, полукоксом, активированным углем.

2.5. Специальное задание № 2. Выбор и описание системы технического водоснабжения ТЭС

В данном специальном задании, используя источник [5] и данные табл. 2.19 и табл. 2.20, выбрать и обосновать систему оборотного охлаждения ТЭС.

Рассчитать площадь водохранилища – охладителя или выбрать градирни.

Оценить потребности станции в технической воде по табл. 2.19.

Т а б л и ц а 2.19

№ п/п	Потребление технической воды на процессы	Расход воды	
		%	м ³ /ч
1	Конденсация пара в конденсаторах турбин	100	
2	Охлаждение водорода, воздуха, конденсата статора электрогенераторов и крупных электродвигателей	2,5-4	
3	Охлаждение подшипников вспомогательных механизмов	0,7-1	
4	Охлаждение масла турбоагрегата и питательных насосов	1,2-2,5	
5	Гидротранспорт золы и шлака (в зависимости от расхода топлива, его зольности, способа золоудаления и типа золоуловителей)	2-6	
6	Восполнение потерь и утечек пароводяного тракта электростанции и тепловых сетей	из расчета ВПУ	
7	Потребление воды бассейнами выдержки и перегрузки топлива, спринклерными устройствами реакторной установки АЭС	0,8-1	
8	Потребление воды теплообменниками контура расхолаживания, охлаждение продувки парогенераторов АЭС	0,3-0,4	

Табл. 2.20 содержит данные о расходе воды на конденсацию пара различных типов турбин.

Таблица 2.20

№ п/п	Тип турбины	Расход воды, м ³ /ч
1	К-160-130	20812
2	К-210-130	25000
3	К-220-44-1	48940
4	К-300-240	33500
5	К-500-240	55000
6	К-500-60/3000	82880
7	К-800-240	73000
8	К-1200-240	108000
9	К-1000-60/1500	166000
10	Т-110/120-130	16000
11	Т-175/210-130	24800
12	Т-180/210-130	22000
13	Т-250/300-240	28000
14	ПТ-60/75-130/13, ПТ-80/100-130/13	8000
15	ПТ-135/165-130/15	12400
16	ТК-450/500-60	60000
17	ТК-330-240	30000

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Стерман Л.С., Покровский В.Н.* Физические и химические методы обработки воды на ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 387 с.
2. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды / Под ред. Л.А. Кульского. – В 2 т.– Киев: Наукова думка, 1980. – Т.1 и 2. – 1206 с.
3. *Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Коровина О.В.* Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 254 с.
4. *Вихрев В.Ф., Шкроб М.С.* Водоподготовка. – М.: Энергия, 1973. – 406 с.
5. *Рыжкин В.Я.* Тепловые электрические станции. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
6. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 624 с.
7. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – М.: Энергия, 1977. – 285 с.
8. Водоподготовительное оборудование для ТЭС и промышленной энергетики: Отраслевой каталог. – М.: НИИЭ Информэнерго-маш, 1983. – 257 с.
9. Методы химических анализов производственных вод: Руководящий документ. – Мн.: Белэнергоремналадка, 1993. – 223 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица П 1

Фильтры водоподготовительных установок

Шифр	Рабочее давление, МПа	Диаметр фильтра, мм	Высота фильтрующей загрузки, мм	Расход воды при расчетной скорости фильтрации, м ³ /ч
1	2	3	4	5
Фильтры осветлительные				
Вертикальные однокамерные:				
ФОВ-1,0-0,6	0,6	1000	1000	10
ФОВ-1,5-0,6	0,6	1500	1000	23
ФОВ-2,0-0,6	0,6	2000	1000	30
ФОВ-2,5-0,6	0,6	2600	1000	50
ФОВ-3,0-0,6	0,6	3000	1000	70
ФОВ-3,4-0,6	0,6	3400	1000	90
Вертикальные двухкамерные:				
ФОВ-2К-3,4-0,6	0,6	3400	900*2	200
Вертикальные трехкамерные:				
ФОВ-3К-3,4-0,6	0,6	3400	900*3	300
Фильтры сорбционные угольные				
ФС-2,0-0,6	0,6	2000	2500	20
ФС-2,6-0,6	0,6	2600	2500	40
ФС-3,0-0,6	0,6	3000	2500	50
ФС-3,4-0,6	0,6	3400	2500	60
Фильтры сорбционные сульфугольные				
ФИС-3,4-1,0	1,0	3400	1000	450
Фильтры ионитные				
Параллельно-точные первой ступени:				
ФИПа-I-0,7-0,6-Na	0,6	700	2000	10
ФИПа-I-1,0-0,6-Na	0,6	1000	2000	20
ФИПа-I-1,0-0,6-H	0,6	1000	2000	20
ФИПа-I-1,0-0,6-Na	0,6	1000	2000	20
ФИПа-I-1,5-0,6-H	0,6	1500	2000	50

1	2	3	4	5
ФИПа-I-1,5-0,6-Na	0,6	1500	2000	50
ФИПа-I-2,0-0,6	0,6	2000	2500	80
ФИПа-I-2,6-0,6	0,6	2600	2500	130
ФИПа-I-3,0-0,6	0,6	3000	2500	180
ФИПа-I-3,4-0,6	0,6	3400	2500	220
Параллельно-точные второй ступени:				
ФИПа-II-1,0-0,6-H	0,6	1000	1500	40
ФИПа-II-1,0-0,6-Na	0,6	1000	1500	40
ФИПа-II-1,5-0,6-H	0,6	1500	1500	90
ФИПа-II-1,5-0,6-Na	0,6	1500	1500	90
ФИПа-II-2,0-0,6	0,6	2000	1500	150
ФИПа-II-2,6-0,6	0,6	2600	1500	250
ФИПа-II-3,0-0,6	0,6	3000	1500	350
Противоточные:				
ФИПр-2,0-0,6	0,6	2000	3700	80
ФИПр-2,6-0,6	0,6	2600	3700	130
ФИПр-3,0-0,6	0,6	3000	3600	180
ФИПр-3,4-0,6	0,6	3400	3400	220
Смешанного действия с выносной регенерацией:				
ФИСДНР-2,0-1,0	1,0	2000	1000	300
ФИСДНР-2,6-1,0	1,0	2600	1000	500
ФИСДНР-3,4-1,0	1,0	3400	1000	900
Смешанного действия с внутренней регенерацией:				
ФИСДР-2,0-0,6	0,6	2000	1950	160
Фильтры-регенераторы для ФИСД с выносной регенерацией				
ФР-1,6-0,6 (для ФИСДНР-2,0)	0,6	1600	1500	–
ФР-2,0-0,6 (для ФИСДНР-2,6)	0,6	2000	2000	–
ФР-2,6-0,6 (для ФИСДНР-3,4)	0,6	2600	2000	–
Фильтры целлюлозные намывные				
НЦФ-1,6-0,6	0,6	1600	–	–
НЦФ-2,0-0,6	0,6	2000	–	–

Таблица П2

Обменная емкость ионов и расход реагентов
на их регенерацию

Ионитные фильтры, название	Условное обозначение	Марка применяемого ионита	Рабочая обменная емкость, г-экв/м ³	Реагенты		
				название реагента	расход (100%-го реагента) на 1 м ³ , b, ионита, кг	удельный расход, г/г-экв, b'
1	2	3	4	5	6	7
Натрий-катионитный первой ступени		сульфо- уголь	250-300	NaCl	58-60	100-200
То же		КУ-2	600-800		110-115	100-200
Натрий-катионитный второй ступени		сульфо- уголь	100		40-45	300-400
То же		КУ-2	250		80-90	320-360
Противоточный натрий-катионитный		сульфо- уголь	250		30-35	130-140
То же		КУ-2	900		70-75	80-85
Сдвоенный для ступенчато-противоточного натрий-катионирования		сульфо- уголь	250		35	140
То же		КУ-2	900		75	85
Водород-катионитный первой ступени при "голодном" режиме регенерации	H _r	сульфо- уголь	200-300	H ₂ SO ₄	10	49
Водород-катионитный первой ступени	H ₁	сульфо- уголь	300		25	100-120
То же		КУ-2	600-680		60	95
Водород-катионитный второй ступени	H ₂	сульфо- уголь	200		20	100
То же		КУ-2	400		40-50	100
Противоточный водород-катионитный первой ступени	H _п	сульфо- уголь	150-250		20	60-80
То же		КУ-2	600-670		60	90-95

1	2	3	4	5	6	7
Сдвоенный водород-катионитный для ступенчато-противоточного Н-катионирования	H _{сп}	сульфо-уголь	200-300	H ₂ SO ₄	20-25	60-80
То же		сульфо-уголь	300-400		35	70-100
То же		КУ-2	600-700		55-60	95
Анионитный первой ступени	A ₁	КУ-2	700-900	NaOH	50	55-70
Анионитный второй ступени (для поглощения всех кислот)	A ₂	AB-17-8	400-450		80-120	180-250
То же (для поглощения SiO ₃ ²⁻ и CO ₂)		AB-17-8	200-300		120	400-600
Анионитный для ступенчато-противоточного анионирования (для поглощения всех кислот)	A _{сп}	AB-17-8	300-450		80	150-300
Анионитный для ступенчато-противоточного анионирования (для поглощения SiO ₃ ²⁻ и CO ₂)	A _{сп}	AB-17-8	250-400		60	200-300
Смешанного действия	ФСД	КУ-2 и AB-17-8	-	H ₂ SO ₄ NaOH	70 100	3,5 г H ₂ SO ₄ и 5 г NaOH на 1 м ³ фильтрата

Таблица ПЗ

Удельный расход воды на собственные нужды
ионитов при обработке природных вод

Название ионитных фильтров	Марка ионита	Удельный расход воды на собственные нужды ионита, м ³ /м ³		
		на приготовление регенерационных растворов	на отмывку продуктов регенерации	общий, P _и
Натрий-катионитные фильтры первой ступени	сульфоуголь	0,7	4,0	4,7
То же	КУ-2	1,7	6,0	7,7
Натрий-катионитные фильтры второй ступени	сульфоуголь	0,5	6,0	6,5
То же	КУ-2	1,1	8,0	9,1
Водород-катионитные фильтры первой ступени	сульфоуголь	1,5	5,0	6,5
То же	КУ-2	4,0	6,5	10,5
Водород-катионитные фильтры второй ступени	сульфоуголь	1,1	10	11,1
То же	КУ-2	1,0	12	13,0
Водород-катионирование при "голодном" режиме регенерации	сульфоуголь	0,7	5	5,7
Анионитные фильтры первой ступени	АН-31	1,8	20	21,8
Анионитные фильтры второй ступени	АВ-17-8	2,5	12	14,5
Фильтры смешанного действия	КУ-2	1,0	12	13,0
	АВ-17-8	2,5	12	14,5

Таблица П4

Осветлители

Для известкования с коагуляцией					Для коагуляции		
Марка осветлителя	Производительность, м ³ /ч	Геометрический объем, м ³	Диаметр, мм	Высота, мм	Производительность, м ³ /ч	Диаметр, мм	Высота, мм
ВТИ-63и	63	76	4250	10200	100	7000	9900
ВТИ-100и	100	133	5500	10690	150	7300	6965
ВТИ-160и	160	236	7000	12247	230	9000	7650
ВТИ-250и	250	413	9000	13524	350	12000	11650
ВТИ-400и	400	650	11000	14889	450	12500	8650
ВТИ-630и	630	1240	14000	17492	–	–	–
ВТИ-1000и	1000	2127	18000	19740	–	–	–

Таблица П5

Декарбонизаторы

Производительность, м ³ /ч	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, м ²	Расход воздуха, м ³ /ч
15	565	0,25	375
25	730	0,417	625
50	1030	0,833	1250
75	1260	1,25	1880
100	1460	1,67	2500
125	1630	2,08	3100
150	1790	2,50	3750
200	2060	3,33	5000
250	2315	4,17	6250
300	2520	5,00	7500

Таблица П6

Оборудование для очистки конденсата турбин 500, 800 и 1200 МВт
с единичной производительностью фильтров 1500 м³/ч

1	2
1. Фильтр осветлительный вертикальный трехпоточный ФОВ-ЗП-3,4-1,0	
Назначение – удаление твердых частиц, главным образом оксидов железа и меди	
Давление, МПа:	
рабочее	1,0
пробное гидравлическое	1,3
Температура, °С	40
Производительность, м ³ /ч	1500
Емкость аппарата, м ³	40
Фильтрующий материал	сульфоуголь или КУ-2
Объем фильтрующей загрузки, м ³	29,3
Изготовитель	ПО “Красный котельщик”
2. Фильтр ионитный смешанного действия трехпоточный ФИСДНР-ЗП-2,6-1	
Назначение – обессоливание турбинного конденсата	
Давление, МПа:	
рабочее	1,0
пробное гидравлическое	1,3
Температура, °С	40
Производительность, м ³ /ч	1500
Емкость аппарата, м ³	22,75
Гидравлическое сопротивление, МПа	0,2-0,3
При щелочном водном режиме:	
катионит КУ-2:	(К:А = 2:1)
объем, м ³	11,3
масса, т	8,1
анионит АВ-17-8:	
объем, м ³	5,7
масса, т	4,2
При нейтральном режиме:	
катионит КУ-2:	(К:А = 1:2)
объем, м ³	5,7
масса, т	4,0

1	2
анионит АВ-17-8: объем, м ³ масса, т Изготовитель	11,3 8,35 ПО “Красный котельщик”
3. Фильтр-регенератор ФР-3,4-0,6 (ЗП) для фильтра ФОВ-ЗП-3,4-1,0	
Назначение – восстановление сорбционной способности сульфогля или КУ-2 осветлительного фильтра ФОВ-ЗП-3,4-1,0	
Давление, МПа: рабочее пробное гидравлическое Температура, °С Среда Емкость, м ³ Изготовитель	0,6 0,9 40 конденсат, 4%-й раствор H ₂ SO ₄ 54 ПО “Красный котельщик”
4. Фильтр-регенератор ФР-2,6-0,6 (ЗП) для фильтра ФИСДНР-ЗП-2,6-1,0	
Назначение – восстановление ионообменной способности ионитовой шихты (смеси анионита АВ-17-8 и катионита Ку-2) трехпоточного фильтра смешанного действия ФИСДНР-ЗП-2,6-1,0	
Давление, МПа: рабочее пробное гидравлическое Температура, °С Среда Емкость, м ³ Изготовитель	0,6 0,9 40 конденсат, 4%-й раствор H ₂ SO ₄ и 4%-й раствор NaOH 35,0 ПО “Красный котельщик”
5. Фильтр Na-катионитный противоточный трехпоточный ФИПр-1-ЗП-2,0-0,6	
Назначение – умягчение воды для подпитки тепловой сети	
Давление, МПа: рабочее пробное гидравлическое Температура, °С Емкость, м ³ Скорость фильтрования, м/ч Производительность, м ³ /ч Объем ионита КУ-2, м ³ Изготовитель	0,6 0,9 50 19,7 25,0 240 18,5 ПО “Красный котельщик”

Учебное издание

ЧИЖ Валентина Александровна
КАРНИЦКИЙ Николай Борисович

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ
ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Учебно-методическое пособие
для студентов дневной и заочной форм обучения
специальностей 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции»
и 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

Редактор Е.И.Кортель. Корректор М.П.Антонова
Компьютерная верстка Н.А.Школьниковой

Подписано в печать 10.06.2004.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 5,8. Уч.-изд. л. 4,5. Тираж 200. Заказ 39.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

Лицензия № 02330/0056957 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.