

В.Н. Воронов, Б.М. Ларин, В.А. Сенина

**ХИМИКО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
РЕЖИМЫ**

**АЭС**

**С**

**ВВЭР**

Издательский дом МЭИ

В.Н. Воронов, Б.М. Ларин, В.А. Сенина

**ХИМИКО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
РЕЖИМЫ  
АЭС  
С ВОДО-ВОДЯНЫМИ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ  
РЕАКТОРАМИ**

Второе издание, стереотипное

Допущено Учебно-методическим объединением вузов России по образованию в области электро- и теплоэнергетики в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки «Ядерная энергетика и теплофизика»

Москва  
Издательский дом МЭИ  
2022

УДК 621.311.25: 621.039ю577 (075.8)

ББК 31.47 я 73

В 754

Рецензенты:

профессор, доктор техн. наук В.С. Кузеванов и канд. техн. наук В.Ф. Тяпков

**Воронов В.Н.**

В 754 Химико-технологические режимы АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами : учебное пособие для вузов / В.Н. Воронов, Б.М. Ларин, В.А. Сенина. — 2-е изд., стер. — М. : Издательский дом МЭИ, 2022. — 390 с. : ил.

ISBN 978-5-383-01534-6

Рассматриваются физико-химические основы свойств теплоносителя АЭС — воды и водных растворов — при обычных и повышенных параметрах состояния; основы теории обработки природных вод с целью получения добавочной воды технологических контуров; характеристики химико-технологических процессов и режимов при эксплуатации теплоэнергетического оборудования атомных электростанций (АЭС) с водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР). Приведены элементы классической теории водного режима и дана характеристика современного состояния водно-химического режима основных контуров АЭС с ВВЭР.

Первое издание учебного пособия выпущено в Издательском доме МЭИ в 2006 году.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки “Теплоэнергетика”, “Ядерная энергетика и теплофизика”.

УДК 621.311.25: 621.039ю577 (075.8)

ББК 31.47 я 73

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Предисловие .....	9
Список основных сокращений.....	10
Введение .....	12
<b>Часть 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ .....</b>	<b>15</b>
<i>Глава 1. Основные понятия .....</i>	<i>15</i>
1.1. Строение молекулы воды.....	15
1.2. Водные растворы .....	16
1.3. Растворимость твердых веществ в воде.....	16
1.4. Электролиты.....	17
1.5. Электролитическая диссоциация .....	18
1.6. Степень диссоциации электролитов .....	19
1.7. Произведение растворимости электролитов .....	20
1.8. Природная вода — электролит.....	22
Вопросы для повторения.....	23
<i>Глава 2. Теория электролитов Дебая и Хюккеля .....</i>	<i>24</i>
2.1. Факторы, влияющие на эффект гидратации и диссоциации .....	24
2.2. Активность и коэффициенты активности .....	26
2.3. Суть теории электролитов Дебая и Хюккеля .....	27
Вопросы для повторения.....	31
<i>Глава 3. Электрическая проводимость растворов электролитов .....</i>	<i>32</i>
3.1. Зависимость удельной электрической проводимости от концентрации и температуры .....	33
3.2. Понятие эквивалентной электрической проводимости.....	34
3.3. Подвижность ионов.....	35
3.4. Электрическая проводимость сильных и слабых электролитов в зависимости от концентрации .....	38
3.5. Примеры определения электрической проводимости водных растворов.....	39
Вопросы для повторения.....	40
<i>Глава 4. Измерение электрической проводимости растворов электролитов .....</i>	<i>41</i>
4.1. Общие понятия .....	41
4.2. Измерение электрической проводимости раствора мостом переменного тока .....	42
4.3. Измерение электрической проводимости на практике .....	44
Вопросы для повторения.....	47

13.5.2. Смешивание ионитов .....	204
13.5.3. Разделение смеси ионитов и их регенерация .....	205
13.6. Особенности обработки вод типа конденсата .....	206
13.7. Особенности применения ионообменных материалов на АЭС .....	207
Вопросы для повторения .....	210
<b>Глава 14. Технологические схемы обработки природной воды на АЭС ..</b>	<b>214</b>
14.1. Общие положения.....	214
14.2. Краткая характеристика работы и состав оборудования ВПУ .....	215
14.3. Третья ступень обессоливания .....	235
Вопросы для повторения .....	236
<b>Часть 3. ВОДНЫЕ РЕЖИМЫ КОНТУРОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ С РЕАКТОРАМИ ТИПА ВВЭР .....</b>	<b>237</b>
<b>Глава 15. Краткая характеристика основного оборудования энергоблока 1000 МВт .....</b>	<b>237</b>
15.1. Задачи и нормативная база водно-химических режимов блоков АЭС..	237
15.2. Первый контур АЭС.....	241
15.3. Второй контур АЭС.....	252
Вопросы для повторения.....	260
<b>Глава 16. Водно-химический режим первого контура .....</b>	<b>261</b>
16.1. Характеристика и функциональное назначение водно-химического режима первого контура .....	261
16.2. Технические средства ведения водно-химического режима первого контура .....	264
16.3. Ведение водно-химического режима первого контура при работе энергоблока на энергетических уровнях мощности .....	273
16.4. Нормы и требования к качеству подпиточной воды первого контура...	279
16.5. Объем и периодичность химического контроля технологической среды первого контура .....	280
16.6. Рекомендуемый перечень входных данных теплотехнического контроля .....	283
16.7. Особенности применения средств автоматизированного химического контроля .....	283
16.8. Состояние ВХР первых контуров АЭС с ВВЭР .....	285
Вопросы для повторения .....	287
<b>Глава 17. Водно-химический режим второго контура .....</b>	<b>289</b>
17.1. Характеристика и назначение водно-химического режима второго контура .....	289
17.2. Водно-химический режим при работе энергоблока на энергетических уровнях мощности менее 35 % номинальной ( $N_{ном}$ ).....	291

17.3. Водно-химический режим при работе энергоблока на энергетических уровнях мощности более 35 % номинальной ( $N_{ном}$ ) .....	293
17.4. Водно-химический режим при подготовке к пуску после планово-предупредительного ремонта .....	296
17.5. Водно-химический режим при останове оборудования и состоянии консервации второго контура .....	298
17.6. Состояние ВХР вторых контуров АЭС с ВВЭР .....	300
Вопросы для повторения .....	304
<b>Глава 18. Системы обеспечения водно-химического режима второго контура .....</b>	<b>305</b>
18.1. Химводоочистка .....	305
18.2. Система конденсации и дегазации .....	306
18.3. Установка очистки турбинного конденсата .....	314
18.3.1. Описание схемы БОУ и регенерационной установки .....	315
18.3.2. Описание конструкции основных аппаратов .....	316
18.3.3. Контроль химических и гидравлических показателей при работе конденсатоочистки .....	326
18.3.4. Качество применяемых реагентов, их входной и эксплуатационный контроль .....	329
18.4. Установка коррекционной обработки рабочей среды второго контура .....	330
18.5. Деаэраторы типа ДП-3200/2×1600/185 .....	334
18.6. Система продувки парогенераторов .....	335
18.7. Описание технологической схемы СВО-5 .....	336
18.8. Состояние систем поддержки ВХР второго контура на АЭС с ВВЭР .....	339
Вопросы для повторения .....	342
<b>Глава 19. Водно-химический режим парогенераторов .....</b>	<b>343</b>
19.1. Работа парогенераторов в проектном режиме .....	343
19.2. Водно-химический режим ПГ в период эксплуатации .....	346
19.2.1. Основные загрязнения питательной воды .....	346
19.2.2. Распределение отложений по длине ПГ .....	347
19.2.3. Распределение соледержания по длине ПГ .....	347
19.2.4. Меры по устранению недостатков проектных решений .....	350
19.3. Химические отмытки парогенераторов .....	352
19.4. Состояние ВХР парогенераторов энергоблоков АЭС .....	357
Вопросы для повторения .....	366
<b>Глава 20. Нормы качества теплоносителя и концепция СКУ ВХР второго контура .....</b>	<b>367</b>
20.1. Проектные нормы качества рабочей среды .....	367
20.2. Особенности концепции СКУ ВХР в части систем второго контура .....	370

20.3. Основные принципы построения СКУ ВХР второго контура .....	380
20.4. Реализация системы химического мониторинга на Тяньваньской АЭС в Китае .....	383
Вопросы для повторения .....	386
<b>Приложение .....</b>	<b>387</b>
<b>Список рекомендуемой литературы .....</b>	<b>389</b>