

Книга третья

ТЕПЛОВЫЕ И АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

СПРАВОЧНИК

Под общей редакцией
А.В. КЛИМЕНКО и В.М. ЗОРИНА



**Издательский дом МЭИ
Москва
2022**

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	7
-------------------	---

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

1.1. Основные определения и классификация котлов	11
1.2. Теплообменные поверхности нагрева	18
1.2.1. Радиационные поверхности нагрева	18
1.2.2. Конвективные поверхности нагрева	21
1.3. Пылеприготовление	25
1.3.1. Системы пылеприготовления	25
1.3.2. Углеразмольные мельницы	26
1.3.3. Тепловой баланс системы пылеприготовления	33
1.4. Горелочные и топочные устройства	37
1.4.1. Горелки	37
1.4.2. Топочные устройства	48
1.5. Токсичные продукты сжигания топлива и снижение их выброса	58
1.5.1. Характеристики продуктов сгорания ТЭС, выбрасываемых в атмосферу	58
1.5.2. Единицы выбросов продуктов сгорания	59
1.5.3. Классификация и нормирование вредных выбросов в атмосферу для котельных установок	61
1.5.4. Воздухоохранные мероприятия	61
1.6. Тепловой и аэродинамический расчеты котла	64
1.6.1. Тепловая схема и общие положения теплового расчета котла	64
1.6.2. Тепловой баланс котла	70
1.6.3. Тепловой расчет топки	72
1.6.4. Расчет теплообмена в поверхностях нагрева	76
1.6.5. Аэродинамический расчет котла	86
1.7. Гидродинамика пароводяного тракта котла	88
1.7.1. Показатели надежности работы поверхностей нагрева паровых котлов	88
1.7.2. Гидродинамический расчет контуров с естественной циркуляцией	92
1.7.3. Гидравлический расчет прямоточного котла	94
1.8. Конструктивные мероприятия по организации водного режима	98
1.9. Водогрейные котлы и котлы-утилизаторы	105
1.9.1. Стальные водогрейные котлы	105
1.9.2. Котлы-утилизаторы	115
1.10. Расчет на прочность элементов котла	118
1.10.1. Общие требования	118
1.10.2. Расчет толщины стенки элементов котла	118

1.10.3. Определение коэффициентов прочности	118
1.10.4. Укрепление отверстий	119
1.10.5. Поверочный расчет на усталость ..	124
Список литературы	125

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ РЕАКТОРЫ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

2.1. Современное состояние ядерной энергетики, перспективы и тенденции развития	126
2.2. Реакторы. Основные понятия	131
2.2.1. Классификация ядерных энергетических реакторов	131
2.2.2. Нейтронно-физические характеристики ядерных реакторов	131
2.2.3. Основные узлы и системы реакторной установки	135
2.2.4. Особенности теплообмена в ядерных реакторах	139
2.3. Реакторные установки одноконтурных АЭС	140
2.3.1. Основные особенности и характеристики реактора РБМК	140
2.3.2. Вопросы безопасности реактора РБМК	143
2.3.3. Развитие конструкции уран-графитового кипящего реактора	144
2.3.4. Корпусные кипящие водо-водяные реакторы	147
2.4. Реакторные установки двухконтурных АЭС	149
2.4.1. Основные особенности реакторов типа ВВЭР	149
2.4.2. Основные характеристики и конструкция ВВЭР	151
2.4.3. Система поддержания давления в первом контуре	151
2.4.4. Безопасность АЭС с реакторами типа ВВЭР	154
2.4.5. Развитие водо-водяных реакторов	156
2.5. Атомные станции теплоснабжения (АСТ)	160
2.5.1. Основные характеристики и конструкция реакторной установки	160
2.5.2. Системы безопасности реакторной установки АСТ	162
2.6. Реакторы на быстрых нейтронах	163
2.6.1. Особенности реакторов на быстрых нейтронах (БР)	163
2.6.2. Тепловая схема и параметры АЭС с реакторами на быстрых нейтронах	163
2.6.3. Конструкции реакторов на быстрых нейтронах	164
2.6.4. Системы безопасности БР	167

2.6.5. Разработка реакторов следующего поколения.....	168	3.3. Ступени паровых турбин.....	250
2.7. Газоохлаждаемые реакторы.....	170	3.3.1. Конструктивные особенности ступеней.....	250
2.7.1. Газоохлаждаемые реакторы с углекислотным теплоносителем.....	170	3.3.2. Тепловой расчет ступеней перегретого и влажного пара.....	252
2.7.2. Высокотемпературные реакторы с гелиевым теплоносителем.....	171	3.3.3. Характеристики турбинных ступеней.....	254
2.7.3. Перспективные конструкции установок с газоохлаждаемыми реакторами.....	175	3.4. Турбинные решетки.....	256
2.8. Тяжеловодные реакторы.....	179	3.5. Тепловой расчет многоступенчатых турбин.....	260
2.9. Отработавшее ядерное топливо и радиоактивные отходы.....	181	3.6. Переменный режим работы паровых турбин.....	265
2.10. Теплогидравлические расчеты ядерных реакторов.....	184	3.6.1. Особенности теплового расчета турбины и ее элементов при переменном режиме работы.....	265
2.10.1. Задачи и классификация теплогидравлических расчетов.....	184	3.6.2. Диаграммы режимов турбин с регулируемым отбором пара.....	273
2.10.2. Пределы безопасной работы.....	184	3.7. Конденсаторы паровых турбин.....	278
2.10.3. Тепловыделение в реакторных материалах.....	185	3.7.1. Типы и компоновки конденсаторов.....	278
2.10.4. Исходные данные для теплогидравлического расчета реактора.....	189	3.7.2. Основы теплового расчета конденсаторов.....	281
2.10.5. Теплогидравлический расчет канала реактора.....	189	3.8. Турбины питательных насосов и воздухоудов котлов.....	290
2.10.6. Расчет запаса до кризиса теплообмена.....	196	3.9. Теплообменное оборудование системы регенеративного подогрева питательной воды.....	295
2.10.7. Расчет теплообмена в закризисной области и при повторном смачивании поверхности нагрева.....	197	3.9.1. Регенеративные подогреватели.....	295
2.10.8. Расчет температуры твэла.....	200	3.9.2. Деаэраторы термические.....	320
2.11. Назначение и классификация парогенераторов АЭС.....	201	3.9.3. Испарители и вспомогательные теплообменники.....	325
2.12. Парогенераторы АЭС с ВВЭР.....	201	3.10. Теплофикационные установки.....	328
2.12.1. Основные характеристики парогенераторов блоков ВВЭР-440 и ВВЭР-1000.....	201	3.10.1. Системы теплоснабжения от электростанций.....	328
2.12.2. Вертикальные парогенераторы насыщенного пара.....	205	3.10.2. Теплоподготовительные системы ТЭС.....	332
2.12.3. Парогенераторы перегретого пара.....	208	3.10.3. Теплофикационные установки ГРЭС.....	334
2.12.4. Особенности парогенераторов АЭС с реакторами PWR.....	209	3.10.4. Теплофикационные установки ТЭЦ с турбинами мощностью 6—25 МВт.....	334
2.13. Парогенераторы АЭС с натриевым теплоносителем.....	210	3.10.5. Теплофикационные установки ТЭЦ с турбинами мощностью 50—250 МВт.....	337
2.14. Основы расчетов парогенераторов АЭС.....	212	3.10.6. Теплофикационные установки атомных станций.....	338
2.14.1. Тепловой расчет.....	212	3.11. Сепараторы-пароперегреватели турбин АЭС.....	344
2.14.2. Конструкционный расчет.....	214	3.12. Расчет тепловой схемы ПТУ.....	349
2.14.3. Гидродинамический расчет.....	216	3.12.1. Выбор параметров тепловой схемы.....	349
2.14.4. Расчет сепарационных устройств.....	218	3.12.2. Методика расчета параметров тепловой схемы ПТУ.....	356
2.15. Продление срока службы и вывод из эксплуатации ядерного энергоблока.....	219	3.12.3. Поверочные расчеты тепловой схемы.....	360
Список литературы.....	224	3.12.4. Математическое моделирование тепловых схем ПТУ.....	362
		Список литературы.....	365

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ ПАРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ

3.1. Тепловые схемы паротурбинных установок.....	228
3.2. Паровые турбины ТЭС и АЭС.....	231
3.2.1. Основные определения и классификация.....	231
3.2.2. Конструктивные особенности турбин перегретого и влажного пара.....	232
3.2.3. Основные характеристики турбин и турбоустановок ТЭС и АЭС.....	241

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ ГАЗОТУРБИННЫЕ И ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ

4.1. Газотурбинные установки (ГТУ).....	367
4.1.1. Основные определения, схемы, классификация ГТУ, области применения.....	367
4.1.2. Отечественные энергетические ГТУ и ГТУ стран СНГ.....	369

4.1.3. Зарубежные энергетические ГТУ ...	374
4.1.4. Расчет тепловой схемы ГТУ	375
4.1.5. Охлаждение ГТУ	377
4.1.6. Расчет охлаждаемой ступени	381
4.1.7. Сжигания топлив, камеры сгорания ГТУ	383
4.1.8. Характеристики ГТУ	384
4.2. Парогазовые установки (ПГУ)	387
4.2.1. Типы и принципиальные схемы ПГУ, их преимущества и недостатки	387
4.2.2. Основы расчета тепловых схем утилизационных ПГУ	390
4.2.3. Основы расчета тепловых схем ПГУ других типов	398
4.2.4. Парогазовые установки России и СНГ	401
4.3. Особенности теплофикационных установок газотурбинных и парогазовых ТЭЦ ...	415
Список литературы	419

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ НАСОСЫ И ГАЗОДУВНЫЕ МАШИНЫ

5.1. Насосы	420
5.1.1. Основные определения, классификация насосов. Общие сведения	420
5.1.2. Лопаточные насосы	423
5.1.3. Центробежные насосы	423
5.1.4. Осевые насосы	431
5.1.5. Характеристики центробежных осевых насосов	436
5.1.6. Регулирование подачи лопатных насосов	439
5.1.7. Объемные насосы	440
5.1.8. Главный циркуляционный насос реакторов типа РБМК	445
5.1.9. Главные циркуляционные насосы реакторов типа ВВЭР	446
5.1.10. Выбор насосов по каталогам	448
5.1.11. Испытания насосов	449
5.2. Газодувные машины	449
5.2.1. Классификация газодувных машин. Общие сведения	449
5.2.2. Осевые вентиляторы	450
5.2.3. Центробежные вентиляторы	450
5.2.4. Характеристики вентиляторов	450
5.2.5. Регулирование вентиляторов и выбор их по каталогам	454
5.3. Компрессоры	456
5.3.1. Общие сведения. Основные рабочие параметры	456
5.3.2. Поршневые компрессоры	457
5.3.3. Центробежные компрессоры	457
5.3.4. Осевые компрессоры	459
5.3.5. Характеристики центробежных и осевых компрессоров	463
5.3.6. Расчет компрессор по методу подобия	464
5.4. Струйные аппараты	469
5.4.1. Общие сведения. Классификация аппаратов	469
5.4.2. Пароструйные эжекторы	471
5.4.3. Пароструйные компрессоры	472
5.4.4. Пароводяные инжекторы	474
5.4.5. Водовоздушные эжекторы	476

5.4.6. Струйные аппараты для пневмотрансформатора	477
Список литературы	478

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПОНОВКИ ТЭС И АЭС

6.1. Тепловые схемы ТЭС и АЭС	480
6.2. Компоновка ТЭС и АЭС	485
6.2.1. Компоновка главного корпуса КЭС и ТЭЦ	485
6.2.2. Компоновки главного корпуса АЭС	493
6.3. Трубопроводы и арматура ТЭС и АЭС	498
6.3.1. Трубопроводы	498
6.3.2. Арматура трубопроводов	503
6.4. Техническое водоснабжение ТЭС и АЭС	519
6.4.1. Потребление технической воды на электростанциях	519
6.4.2. Системы технического водоснабжения	520
6.5. Технологическая вентиляция на АЭС	524
6.6. Топливное хозяйство ТЭС и технологический транспорт топлива на АЭС	525
6.6.1. Организация учета топлива на ТЭС	525
6.6.2. Топливное хозяйство ТЭС	526
6.6.3. Система технологической транспортировки топлива на АЭС	535
6.7. Системы золошлакоудаления ТЭС	537
6.8. Генеральный план ТЭС и АЭС	545
6.8.1. Выбор площадки для строительства электростанции	545
6.8.2. Размещение объектов на генеральном плане электростанции	546
Список литературы	550

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ ВОДНЫЙ РЕЖИМ, ХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ОБРАБОТКА ВОДЫ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

7.1. Показатели качества воды	552
7.2. Организация водно-химических режимов, нормирование качества воды и пара для котлов, парогенераторов и реакторов	553
7.2.1. Общие положения	553
7.2.2. Типы водно-химических режимов и их характеристики	554
7.2.3. Системы обеспечения и методы поддержания ВХР	563
7.3. Химический контроль на ТЭС и АЭС	563
7.3.1. Общие требования и задачи	563
7.3.2. Основные принципы создания систем химико-технологического мониторинга	564
7.3.3. Основные методы инструментального химического контроля	566
7.3.4. Характеристики применяемых средств и методов химического контроля, устройств связи с объектом и средств вычислительной техники	571
7.4. Обработка воды на ТЭС и АЭС	574

7.4.1. Подготовка добавочной воды	574	8.2. Схемы и способы охлаждения электрических машин	601
7.4.2. Технология подготовки добавочной воды с сокращенными расходами реагентов и стоков	580	8.3. Охлаждение турбогенераторов	604
7.4.3. Очистка конденсатов	583	8.4. Охлаждение трансформаторов	616
7.4.4. Очистка радиоактивно загрязненных вод на АЭС различных типов	585	8.5. Охлаждение электрических двигателей ...	619
Список литературы	589	8.6. Вентиляционный, гидравлический и тепловой расчеты систем охлаждения электрических машин и трансформаторов	623
РАЗДЕЛ ВОСЬМОЙ		8.7. Теплообменники электрических машин и трансформаторов	627
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ		8.8. Допустимые нагрузки и тепловой контроль электрических машин и трансформаторов	635
И ТРАНСФОРМАТОРЫ		Список литературы	639
8.1. Разновидности электрических машин и их классификация по функциональному назначению	591	Предметный указатель	640

Справочное электронное издание

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Справочная серия в четырех книгах

Книга 3

ТЕПЛОВЫЕ И АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Редакторы *Т.Н. Платова, Е.А. Путилова, Н.Н. Сошникова*

Художественные редакторы *Н.П. Антонов, Е.М. Апраксин, Е.Н. Комарова*

Корректоры *Р.М. Ваничкина, В.В. Сомова*

Набор и верстка *Л.В. Софейчук*

Подписано в печать с оригинала-макета 01.04.22

Бумага офсетная

Усл. печ. л. 56,7.

Гарнитура Таймс

Усл. кр.-отт. 56,7.

Формат 70×108/16

Печать цифровая

Уч.-изд. л. 75,3.

АО «Издательский дом МЭИ», 111024, Москва, ул. 2-я Кабельная, д. 2,
тел/факс: (495) 280-12-46, адрес в Интернете: <https://www.idmei.ru>,
электронная почта: info@idmei.ru