

Ю.М.Бродов, К.Э.Аронсон,
А.Ю.Рябчиков, М.А.Ниренштейн

СПРАВОЧНИК

по теплообменным аппаратам паротурбинных установок

*Под общей редакцией
доктора техн. наук, профессора Ю.М.Бродова*

2-е издание, исправленное



Москва
Издательский дом МЭИ
2021

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3	2.6. Насосы конденсационной установки	104
Основные сокращения, обозначения и индексы	4	2.6.1. Выбор конденсатных насосов ..	105
Введение	7	2.6.2. Выбор циркуляционных насосов ..	109
Раздел 1. Общие положения	9	2.6.3. Воздушные насосы	116
1.1. Назначение и классификация теплообменных аппаратов	9	2.7. Эксплуатация конденсационных установок	129
1.2. Принципиальные тепловые схемы турбоустановок	13	2.7.1. Правила технической эксплуатации конденсационных установок	129
1.3. Теплоносители и их свойства	33	2.7.2. Эксплуатационный контроль работы конденсационной установки ..	130
1.4. Принципы организации течения и определение температур теплоносителей в аппаратах	39	2.7.3. Контроль гидравлической и воздушной плотности конденсатора	144
1.5. Основные элементы конструкции и материалы кожухотрубных аппаратов	43	2.7.4. Загрязнение конденсаторов и способы их очистки	146
1.5.1. Корпуса, патрубки и опоры	44	2.7.5. Определение оптимальных сроков очистки конденсаторов	151
1.5.2. Водяные камеры	47	Раздел 3. Теплообменные аппараты в системах регенеративного подогрева питательной воды ПТУ	153
1.5.3. Трубные доски и промежуточные перегородки	50	3.1. Термодинамические основы организации системы регенеративного подогрева питательной воды	153
1.5.4. Трубки и способы их крепления	50	3.2. Принципиальные схемы систем регенеративного подогрева питательной воды	154
1.5.5. Материалы элементов конструкции теплообменных аппаратов	58	3.3. Схемы включения аппаратов	158
1.6. Компоновка трубных пучков	65	3.4. Технические характеристики и типовые конструкции аппаратов	166
1.7. Параметры, характеризующие тепловую эффективность аппаратов	69	3.4.1. Подогреватели высокого давления	166
1.8. Влияние состояния поверхности теплообмена на эффективность работы аппаратов	70	3.4.2. Подогреватели низкого давления поверхностного типа	175
1.9. Основные показатели надежности теплообменных аппаратов турбоустановок	72	3.4.3. Подогреватели низкого давления смешивающего типа	189
Раздел 2. Конденсационные установки паровых турбин	76	3.4.4. Сальниковые подогреватели и охладители эжекторов	194
2.1. Принципиальные компоновочные решения и конструктивная схема конденсатора	76	3.4.5. Охладители конденсата	202
2.2. Охлаждение конденсаторов и схемы их включения по охлаждающей воде	78	3.5. Тепловой и гидродинамический расчеты аппаратов системы регенеративного подогрева питательной воды	207
2.3. Характеристики конденсатора	79	3.5.1. Методики теплового расчета поверхностных конденсирующих аппаратов	207
2.4. Типовые конструкции и технические характеристики конденсаторов	82	3.5.2. Алгоритмы теплового расчета поверхностных конденсирующих аппаратов	212
2.5. Тепловой и гидродинамический расчеты конденсатора	98	3.5.3. Гидродинамический расчет поверхностных аппаратов	216
2.5.1. Методики теплового расчета	98	3.5.4. Теплогидравлический расчет смешивающих подогревателей	219
2.5.2. Алгоритмы теплового расчета конденсатора	102	3.6. Эксплуатационный контроль работы аппаратов системы регенеративного подогрева питательной воды	224
2.5.3. Методики гидродинамического расчета	103		

Раздел 4. Деаэрационные установки	228	5.2. Типовые конструкции и техниче- ские характеристики сетевых подо- гревателей	302
4.1. Физические основы процесса деаэрации воды	228	5.2.1. Вертикальные сетевые подогреватели	303
4.2. Назначение и состав деаэрационной установки	232	5.2.2. Горизонтальные сетевые подогреватели	306
4.3. Технические характеристики и типовые конструкции элементов деаэрационных установок	236	5.3. Тепловой и гидродинамический рас- четы сетевых подогревателей	309
4.3.1. Вакуумные деаэраторы	236	5.3.1. Методики теплового расчета сетевых подогревателей	309
4.3.2. Атмосферные деаэраторы	239	5.3.2. Алгоритмы теплового расчета подогревателей сетевой воды	310
4.3.3. Деаэраторы повышенного давления	241	5.3.3. Методики гидродинамического расчета сетевых подогревателей	312
4.3.4. Баки-аккумуляторы деаэраторов	243	5.4. Насосы систем теплофикации	313
4.3.5. Охладители выпара деаэраторов	246	5.5. Вопросы эксплуатации подогревателей сетевой воды	316
4.3.6. Предохранительные устройства	249	5.5.1. Эксплуатационный контроль за работой подогревателей	316
4.4. Тепловой и гидродинамический расчеты деаэрационных установок	251	5.5.2. Определение оптимальных сроков очистки сетевых подогревателей	320
4.4.1. Тепловой баланс деаэратора	251	5.5.3. Регулирование и система защиты	322
4.4.2. Теплогидравлический расчет деаэрационной колонки струйного типа	252	Раздел 6. Теплообменные аппараты в системах маслоснабжения турбин	324
4.4.3. Расчет деаэрационных колонок плночного типа	258	6.1. Общие сведения	324
4.4.4. Расчет барботажных устройств	261	6.1.1. Турбинные масла и их свойства	324
4.4.5. Расчет охладителей выпара	263	6.1.2. Системы маслоснабжения турбин	325
4.5. Схемы включения деаэраторов	264	6.1.3. Схемы включения маслоохла- дителей по охлаждающей воде	331
4.5.1. Включение атмосферных и вакуумных деаэраторов в схемы подготовки питательной воды котлов на ТЭЦ	264	6.2. Технические характеристики и конструкции маслоохладителей	334
4.5.2. Схемы включения деаэраторов повышенного давления	266	6.2.1. Требования к конструкции маслоохладителей	334
4.6. Вопросы эксплуатации деаэраторов	273	6.2.2. Типовые конструкции масло- охладителей	335
4.6.1. Режимы работы и обслуживание деаэрационных установок	273	6.3. Теплогидравлический расчет маслоохладителей ПТУ	345
4.6.2. Регулирование деаэрационных установок	275	6.3.1. Расчет гидравлических характеристик маслоохладителей	345
4.7. Бездеаэраторные схемы паротурбинных установок	282	6.3.2. Тепловой расчет маслоохла- дителей	346
Раздел 5. Подогреватели сетевой воды в системах теплоснабжения ТЭС и АЭС	287	6.3.3. Алгоритм теплового расчета	349
5.1. Общие сведения	287	6.3.4. Теплогидравлический расчет	350
5.1.1. Виды тепловой нагрузки	287	6.4. Вопросы эксплуатации маслоохла- дителей	356
5.1.2. Комбинированное и раздельное производство электрической и тепловой энергии	288	Раздел 7. Вспомогательные теплооб- менники	358
5.1.3. Системы теплоснабжения	291	7.1. Конденсаторы турбопривода	358
5.1.4. Теплофикационные установки ГРЭС	296	7.2. Испарители	360
5.1.5. Теплофикационные установки ТЭЦ	297	7.3. Пароводяные теплообменники	363
5.1.6. Теплофикационные установки атомных станций	300	7.4. Водно-водяные теплообменники	370

Раздел 8. Расчет на прочность элементов конструкции теплообменных аппаратов	374	10.2. Обоснование выбора материала трубных систем теплообменных аппаратов	462
8.1. Корпуса и обечайки аппаратов	374	10.3. Повышение вибрационной надежности трубных систем теплообменных аппаратов	464
8.2. Днища и крышки	376	10.4. Повышение эффективности и надежности пароводяных подогревателей за счет модернизации системы отсоса неконденсирующихся газов	465
8.3. Укрепление отверстий	378	10.5. Способы очистки трубных систем теплообменных аппаратов	466
8.4. Выбор болтов и шпилек	380	10.6. Разработка и изготовление высокоплотных, экологически надежных и эффективных маслоохладителей	468
8.5. Расчет фланцев	382	10.7. Высокоэффективные надежные теплообменники с U-образными трубками для паротурбинных установок	469
8.6. Расчет трубных досок	385	10.8. Замена трубных систем теплообменных аппаратов с U-образными трубками на прямотрубные	469
8.7. Расчет термических напряжений	388	10.9. Интегрирующее расходомерное устройство для трубопроводов больших диаметров на тепловых электрических станциях	470
8.8. Расчет корпуса и днищ аппарата на устойчивость	388	10.10. Эксплуатационный контроль и мониторинг состояния оборудования	470
8.9. Вибрационный расчет трубных систем аппаратов	389	10.11. Оптимизация срока замены трубок в теплообменных аппаратах паротурбинных установок	472
8.10. Расчет опор аппаратов	394	10.12. Пакет прикладных программ теплового, гидравлического и прочностного расчетов энергетических теплообменных аппаратов	473
8.11. Расчет линзовых компенсаторов	397	10.13. Корпоративный программный комплекс для ведения контроля исполнения эксплуатационных приказов	473
Раздел 9. Ремонт теплообменных аппаратов	399	10.14. Корпоративная программа расчета ТЭП (макеты 15505, 15506) и отчета о техническом использовании оборудования энергетической корпорации	474
9.1. Характерные неисправности теплообменных аппаратов и способы их устранения	399	Список литературы	475
9.2. Типовые работы при ремонте теплообменных аппаратов	405		
9.2.1. Разборка аппаратов. Ремонт водяных камер и элементов трубной системы	405		
9.2.2. Замена трубок в теплообменных аппаратах	406		
9.3. Испытания теплообменных аппаратов до ремонта и после него	409		
9.4. Особенности ремонта различных теплообменных аппаратов	409		
9.4.1. Конденсаторы	409		
9.4.2. Аппараты системы регенеративного подогрева питательной воды ПТУ	418		
9.4.3. Подогреватели сетевой воды	447		
9.4.4. Маслоохладители	456		
Раздел 10. Современные разработки по совершенствованию теплообменных аппаратов ПТУ, прошедшие апробацию в условиях эксплуатации	459		
10.1. Повышение эффективности энергетических теплообменных аппаратов за счет применения профильных витых трубок	459		