



### Поспелов Анатолий Алексеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций ИГЭУ, автор более 100 научных работ, 12 учебно-методических разработок, шести патентов на изобретения, шести свидетельств на регистрацию программ для ЭВМ. Специалист в области эксплуатации и режимов работы оборудования тепловых электростанций



### Ледуховский Григорий Васильевич

кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций ИГЭУ, автор 170 научных работ, 12 свидетельств на регистрацию программ для ЭВМ. Профессиональные интересы: вспомогательное оборудование тепловых электростанций; технико-экономический анализ и нормирование показателей работы оборудования тепловых электростанций



### Михеев Павел Геннадьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций ИГЭУ, автор 30 научных работ, двух патентов на изобретения, пяти учебно-методических разработок. Профессиональные интересы: эксплуатация и режимы работы оборудования тепловых электростанций, измельчение и классификация сыпучих материалов

В учебном пособии приведены базовые сведения о составе технологических систем и особенностях эксплуатации паротурбинных установок неблочных ТЭС в объёме, соответствующем рабочей программе дисциплины «Режимы работы и эксплуатация паротурбинных ТЭС» для студентов вузов, обучающихся по профилю «Тепловые электрические станции» направления подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника». Издание может быть полезным инженерно-техническому персоналу тепловых электрических станций, сервисных и контролирующих организаций, специалистам, занимающимся эксплуатацией теплоэнергетического оборудования, при подготовке и повышении квалификации

## А.А. Поспелов, Г.В. Ледуховский, П.Г. Михеев



## РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ТЭС

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина»

**А.А. ПОСПЕЛОВ, Г.В. ЛЕДУХОВСКИЙ, П.Г. МИХЕЕВ**

**РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ТЭС**

**Учебное пособие**

Иваново 2016

УДК 621.311.22

П 62

Поспелов А.А., Ледуховский Г.В., Михеев П.Г. Режимы работы и эксплуатация паротурбинных установок ТЭС: Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2016. – 376 с.

ISBN

Приведены базовые сведения о составе технологических систем и особенностях эксплуатации паротурбинных установок неблочных ТЭС в объеме, соответствующем рабочей программе дисциплины «Режимы работы и эксплуатация паротурбинных ТЭС» для студентов вузов, обучающихся по профилю «Тепловые электрические станции» направления подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника». Издание может быть полезным инженерно-техническому персоналу тепловых электрических станций, сервисных и контролирующих организаций, специалистам, занимающимся эксплуатацией теплоэнергетического оборудования при подготовке и повышении квалификации.

Табл. 6. Ил. 60. Библиогр.: 56 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

#### РЕЦЕНЗЕНТЫ:

А.А. Поздышев (ЗАО «Техническая инспекция ЕЭС», г. Москва),  
канд. техн. наук А.Л. Виноградов (ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»),  
В.К. Макаронов (ЗАО «Ивэнергосервис», г. Иваново).

ISBN

© А.А. Поспелов,  
Г.В. Ледуховский,  
П.Г. Михеев, 2016

## Оглавление

Введение.....	8
<b>1. СТРУКТУРА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ НЕБЛОЧНОЙ ТЭС.....</b>	<b>10</b>
<b>2. ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК.....</b>	<b>15</b>
2.1. Система паропроводов свежего пара.....	15
2.2. Система паровпуска турбины.....	16
2.3. Система дренажей турбины.....	17
2.4. Система регенеративных паропроводов.....	18
2.5. Система обогрева фланцев и шпилек.....	18
2.6. Система подачи пара на переднее концевое уплотнение ЦВД турбины.....	23
2.7. Система охлаждения выхлопного патрубка ЦНД турбины.....	24
2.8. Конденсационная установка.....	25
2.8.1. Назначение конденсационной установки.....	25
2.8.2. Описание технологической схемы конденсационной установки турбоагрегата неблочной ТЭС.....	25
2.8.3. Описание технологической схемы конденсационной установки турбоагрегата блочной КЭС.....	37
2.8.4. Эксплуатация конденсационной установки.....	42
2.8.4.1. Структура оперативных состояний и режимов работы конденсационной установки.....	42
2.8.4.2. Характеристика оперативных состояний конденсационной установки.....	44
2.8.4.3. Пуск конденсационной установки в работу.....	50
2.8.4.4. Останов конденсационной установки.....	54
2.8.4.5. Контроль оборудования конденсационной установки, находящейся в оперативном состоянии «Работа».....	56

2.8.4.6. Контроль вакуумной плотности конденсационной установки.....	61
2.8.4.7. Контроль гидравлической плотности конденсатора.....	66
2.8.4.8. Очистка водяного тракта конденсационной установки.....	68
2.9. Регенеративная установка турбоагрегата.....	72
2.9.1. Общие сведения.....	72
2.9.2. Тепловая схема включения регенеративных подогревателей низкого давления.....	72
2.9.3. Тепловая схема включения регенеративных подогревателей высокого давления.....	75
2.9.4. Защитное устройство от недопустимого повышения уровня в корпусах ПВД.....	80
2.9.5. Защитное устройство от повышения давления в корпусах ПВД.....	83
2.9.6. Защитное устройство от повышения давления в трубной системе ПВД.....	84
2.9.7. Основные принципы эксплуатации системы регенерации турбоустановки.....	84
2.10. Деаэрационная установка.....	88
2.10.1. Общие сведения о деаэраторах.....	88
2.10.2. Основы эксплуатации деаэрационной установки.....	93
2.10.3. Пуск деаэрационной установки.....	93
2.10.4. Нормальная эксплуатация деаэрационной установки.....	96
2.10.5. Останов деаэрационной установки.....	97
2.10.6. Аварийные ситуации.....	99
2.11. Питательная установка.....	100
2.11.1. Особенности конструкции и обвязки питательных насосов неблочных ТЭС.....	100
2.11.2. Основы эксплуатации питательных насосов.....	109
2.12. Система маслоснабжения турбоагрегата.....	113
2.12.1. Общие сведения о маслосистемах турбоагрегатов.....	113
2.12.2. Основы эксплуатации маслосистем турбоагрегатов.....	121

2.13. Системы автоматического регулирования турбин.....	128
2.13.1. <i>Общие сведения</i> .....	128
2.13.2. <i>Принципиальные схемы регулирования паровых турбин</i> .....	134
2.13.2.1. Рычажно-гидравлическая система автоматического регулирования турбины с однократным усилением.....	135
2.13.2.2. Гидравлическая система автоматического регулирования турбины .....	137
2.13.2.3. Гидродинамическая система автоматического регулирования турбины КТЗ с одним регулируемым отбором пара.....	142
2.13.2.4. Гидродинамическая система автоматического регулирования турбины УТМЗ с одним регулируемым отбором пара.....	150
2.13.2.5. Электрогидравлическая система автоматического регулирования паровой турбины типа «Т».....	159
2.14. Автоматическая система защиты турбины.....	163
2.14.1. <i>Необходимость защиты турбины</i> .....	163
2.14.2. <i>Исполнительные органы системы защиты турбины</i> .....	166
2.14.3. <i>Защита турбины от недопустимого повышения частоты вращения (разгона) ротора турбины</i> .....	172
2.14.4. <i>Обслуживание автоматических систем регулирования и защиты турбины</i> .....	176
2.15. Системы охлаждения турбогенератора.....	184
2.15.1. <i>Общие сведения</i> .....	184
2.15.2. <i>Система газоохлаждения турбогенератора с водородным охлаждением</i> .....	187
2.15.3. <i>Система газоохлаждения турбогенератора с водородно-водяным охлаждением</i> .....	188
2.15.4. <i>Основы эксплуатации систем газоохлаждения турбогенераторов</i> .....	189
2.15.5. <i>Система водяного охлаждения обмотки статора турбогенератора</i> .....	193
2.15.5.1. <i>Общие сведения</i> .....	193
2.15.5.2. <i>Основы эксплуатации водяной системы охлаждения обмотки статора турбогенератора</i> .....	197

2.16. Система маслоснабжения уплотнений вала турбогенератора с водородным охлаждением.....	201
2.16.1. Общие сведения.....	201
2.16.2. Схема маслоснабжения уплотнений вала турбогенератора с водородным охлаждением.....	205
2.16.3. Контролируемые параметры, защиты и блокировки в схеме маслоснабжения уплотнений вала турбогенератора.....	209
2.16.4. Основы эксплуатации системы маслоснабжения уплотнений вала турбогенератора.....	211
<b>3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЩЕСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ТЭС.....</b>	<b>219</b>
3.1. Система паропроводов собственных нужд ТЭС.....	219
3.1.1. Общие сведения.....	219
3.1.2. Основы обслуживания паропроводов собственных нужд.....	223
3.2. Система технического водоснабжения ТЭС.....	227
3.2.1. Общие сведения.....	227
3.2.2. Основы обслуживания системы технического водоснабжения ТЭС.....	230
3.3. Схема восполнения потерь пара и конденсата в пароводяном тракте ТЭС.....	234
<b>4. ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НЕБЛОЧНЫХ ТЭС.....</b>	<b>239</b>
4.1. Общие положения.....	239
4.2. Критерии надёжности работы паротурбинной установки.....	244
4.3. Структура режимов работы и оперативных состояний паротурбинной установки неблочной ТЭС.....	258
4.4. Основы эксплуатации неблочных паротурбинных установок ТЭС в режимах пуска.....	278
4.4.1. Основные технологические принципы организации режимов пуска неблочных ПТУ ТЭС.....	278
4.4.2 Пуск конденсационной турбины неблочной ТЭС из холодного состояния.....	297
4.4.2.1. Общие положения.....	297

4.4.2.2. Подготовительный этап пуска турбины.....	299
4.4.2.3. Толчок ротора и вывод неблочной конденсационной турбины на обороты холостого хода.....	313
4.4.2.4. Синхронизация турбогенератора с сетью, нагружение турбоагрегата и вывод на минимальную нагрузку регулировочного диапазона нагрузок.....	316
4.4.2.5. Особенности пуска неблочной конденсационной турбины из «горячего» состояния.....	317
4.4.2.6. Особенности пуска неблочной конденсационной турбины из «неостывшего» состояния.....	323
4.4.3. Особенности пуска теплофикационных турбин.....	325
4.4.4. Особенности пуска турбин с противодавлением.....	333
4.4.5. Режимы останова турбоагрегатов.....	335
4.4.5.1. Плановый останов в резерв турбоагрегата неблочной ТЭС .....	335
4.4.5.2. Выбег ротора турбоагрегата.....	341
4.4.5.3. Особенности планового останова в резерв турбоагрегатов блочной ТЭС с барабанными котлами без промежуточного перегрева пара.....	343
4.4.5.4. Плановый останов турбоагрегатов в ремонт.....	345
4.4.5.5. Аварийный останов турбоагрегатов.....	349
4.4.6. Эксплуатация турбоагрегата в регулировочном диапазоне нагрузок.....	353
4.4.7. Общие требования к ведению оперативной работы.....	363
4.4.8. Особые режимы работы турбоагрегата.....	364
4.4.8.1. Режим работы с ухудшенным вакуумом.....	364
4.4.8.2. Режим работы турбины с частично отключенной регенерацией.....	366
4.4.8.3. Работа турбины в беспаровом режиме.....	368
Перечень принятых сокращений.....	370
Библиографический список.....	372

## ВЕДЕНИЕ

Паротурбинная установка предназначена для преобразования энергии пара в механическую энергию и включает в общем случае основное оборудование – паровую турбину, соединённую с турбогенератором, и вспомогательное оборудование: конденсационное устройство; регенеративные подогреватели турбинного конденсата и питательной воды; деаэрактор; конденсатные, питательные и другие насосы; трубопроводы пара и воды.

Основное и вспомогательное оборудование является дорогостоящим; выход его из строя влечет значительный материальный ущерб как для электростанции, так и для потребителей тепловой и электрической энергии.

В целом эксплуатация оборудования турбинного цеха связана с использованием мощных и сложных вращающихся механизмов; сосудов и аппаратов, работающих под давлением; горячих, агрессивных, токсичных, взрывоопасных жидкостей и газов; оборудования, размещенного в разных уровнях здания главного корпуса тепловой электрической станции.

Из указанных особенностей следует, что надежность и экономичность работы электростанции зависит в основном от совершенства технических средств, используемых на станции, и от культуры их эксплуатации, определяемой уровнем подготовки эксплуатационного персонала.

Общие принципы организации эксплуатации тепломеханического оборудования и требования к обслуживающему персоналу и его подготовке достаточно полно изложены в ряде работ [1, 2].

В настоящем учебном пособии рассматривается структура оборудования и основы эксплуатации собственно паровой турбины и технологических систем, обеспечивающих надёжную, безопасную и экономичную работу турбоагрегата в режимах пуска, останова и при эксплуатации в регулировочном диапазоне нагрузок.

Предлагаемое читателю пособие охватывает темы, составляющие курс «Режимы работы и эксплуатация паротурбинных ТЭС», входящий в план подготовки бакалавра по профилю

«Тепловые электрические станции» направления подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» в Ивановском государственном энергетическом университете. Освоение освещенных в настоящем пособии вопросов необходимо также при изучении альтернативного курса «Режимы работы и эксплуатация парогазовых ТЭС». Ряд разделов учебного пособия будут полезными магистрантам, обучающимся по указанному направлению подготовки.

Авторы выражают искреннюю признательность рецензентам за ценные замечания по содержанию пособия: главному эксперту отдела технического аудита ЗАО «Техническая инспекция ЕЭС» А.А. Поздышеву; канд. техн. наук, заведующему кафедрой паровых и газовых турбин ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина» А.Л. Виноградову; начальнику отдела испытаний и наладки энергетического оборудования ЗАО «Ивэнергосервис» В.К. Макаронову, а также сотрудникам УИУНЛ ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина» за проделанную ими работу по подготовке пособия к изданию.