



### Ледуховский Григорий Васильевич

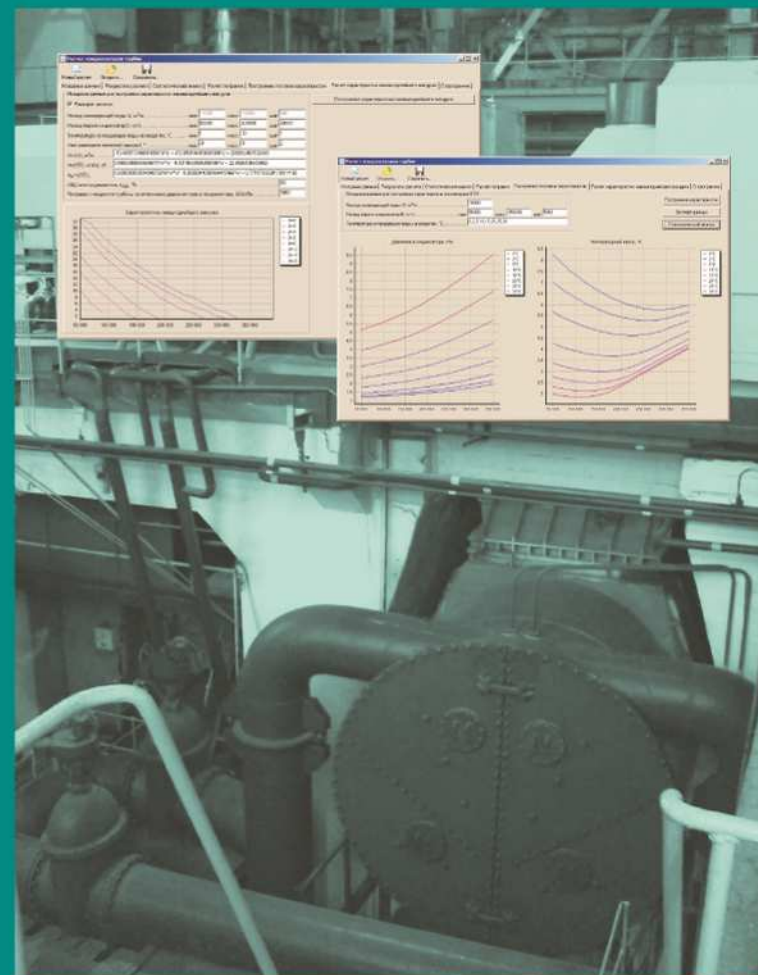
кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций ИГЭУ, автор более 160 научных работ, десяти свидетельств на регистрацию программ для ЭВМ. Научные интересы: моделирование и повышение эффективности процессов теплообмена и деаэрации воды; вспомогательное оборудование тепловых электростанций; технико-экономический анализ и нормирование показателей работы оборудования тепловых электростанций



### Поспелов Анатолий Алексеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций ИГЭУ, автор более 90 научных работ, десяти учебно-методических разработок, шести патентов на изобретения, шести свидетельств на регистрацию программ для ЭВМ. Специалист в области эксплуатации и режимов работы оборудования тепловых электростанций

## Г.В. Ледуховский, А.А. Поспелов



В учебном пособии приведены общие сведения о методиках поверочного теплового расчета конденсаторов паровых турбин, расчета энергетических характеристик конденсационных установок, описание прикладного программного комплекса для выполнения теплового расчета, обработки результатов экспресс-испытаний и построения энергетических характеристик конденсаторов. Пособие предназначено для студентов, обучающихся по профилю «Тепловые электрические станции» направления подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» дневной и заочной форм обучения, а также может быть полезным специалистам, занимающимся нормированием показателей тепловой экономичности теплоэнергетического оборудования

## КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ПАРОВЫХ ТУРБИН: РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

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

**Г.В. ЛЕДУХОВСКИЙ, А.А. ПОСПЕЛОВ**

**КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ПАРОВЫХ  
ТУРБИН: РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК**

**Учебное пособие**

Иваново 2014

УДК 621.311.22

Л 39

Ледуховский Г.В., Поспелов А.А. Конденсационные установки паровых турбин: расчет энергетических характеристик: Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 112 с.

ISBN

В учебном пособии приведены общие сведения о методиках поверочного теплового расчета конденсаторов паровых турбин, расчета энергетических характеристик конденсационных установок, описание прикладного программного комплекса для выполнения теплового расчета, обработки результатов экспресс-испытаний и построения энергетических характеристик конденсаторов.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по профилю «Тепловые электрические станции» направления подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» дневной и заочной форм обучения, а также может быть полезным специалистам, занимающимся нормированием показателей тепловой экономичности теплоэнергетического оборудования.

Табл. 11. Ил. 36. Библиогр.: 15 назв.

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

**НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР**

канд. техн. наук, доц. Г.В. Ледуховский

**РЕЦЕНЗЕНТ**

А.А. Андреев, канд. техн. наук, канд. экон. наук, директор дирекции строительства ПГУ-90 Омской ТЭЦ-3 филиала ООО «Кварц – Новые технологии», старший преподаватель кафедры «Котельные установки и экология энергетики» ФГБОУВПО «Национальный исследовательский университет “МЭИ”»

ISBN

© Г.В. Ледуховский,  
А.А. Поспелов, 2014

## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>1. БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОНДЕНСАТОРАХ ПАРОВЫХ ТУРБИН.....</b>	<b>7</b>
1.1. Устройство конденсатора с водяным охлаждением.....	7
1.2. Особенности технологических процессов конденсации пара.....	16
1.3. Совместная работа конденсатора и воздухоудаляющего устройства.....	23
<b>2. ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТОРОВ .....</b>	<b>29</b>
<b>3. ПОВЕРОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КАК ОСНОВА РАЗРАБОТКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНДЕНСАТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ.....</b>	<b>39</b>
3.1. Общий подход к расчету энергетических характеристик.	39
3.2. Поверочный тепловой расчет конденсатора.....	41
3.3. Варианты заданий на самостоятельную работу .....	58
<b>4. НАСТРОЙКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНДЕНСАТОРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ. 60</b>	
4.1. Постановка задачи .....	60
4.2. Порядок решения задачи.....	64
<b>5. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПАРОВЫХ ТУРБИН С ЭКОНОМИЧЕСКИМ ВАКУУМОМ В КОНДЕНСАТОРЕ .....</b>	<b>79</b>
5.1. Влияние давления пара в конденсаторе на мощность турбогенератора.....	79
5.2. Понятия предельного и экономического вакуума в конденсаторе паровой турбины .....	81
5.3. Основы расчета энергетических характеристик для поддержания режимов работы паровых турбин с экономическим вакуумом в конденсаторе .....	84

<b>6. ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН.....</b>	<b>93</b>
6.1. Общие сведения .....	93
6.2. Ввод исходных данных .....	95
6.3. Расчет и статистический анализ результатов расчета.....	97
6.4. Настройка математической модели по результатам испытаний.....	100
6.5. Построение энергетических характеристик конденсатора.....	103
6.6. Построение характеристики наивыгоднейшего вакуума..	106
6.7. База данных конденсаторов .....	108
<b>Вопросы для самопроверки.....</b>	<b>109</b>
<b>Библиографический список.....</b>	<b>111</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Техническое состояние конденсатора паровой турбины в значительной степени определяет тепловую эффективность паротурбинной установки в целом. Удельные расходы топлива на выработку электроэнергии турбогенератором существенно зависят от давления пара в конденсаторе, поэтому в ходе эксплуатации турбоустановки необходимо контролировать техническое состояние конденсатора. Любое его ухудшение, выраженное, например, в заглушке трубок, увеличении отложений в трубной системе конденсатора или увеличении присосов воздуха в вакуумную систему, в конечном итоге приводит к отклонению рабочих характеристик конденсатора от его нормативных характеристик.

При эксплуатации конденсатора используют его нормативные энергетические характеристики, состоящие из зависимостей давления пара в конденсаторе и конечного температурного напора конденсатора от его паровой нагрузки и температуры охлаждающей воды на входе в конденсатор при различных значениях расхода охлаждающей воды. Наиболее точно такие характеристики могут быть получены в ходе тепловых испытаний конденсатора. Далее, в ходе эксплуатации, контроль технического состояния конденсатора осуществляется путем сопоставления фактических показателей с нормативными, определяемыми по энергетическим характеристикам.

В современных условиях работы тепловых электростанций проведение тепловых испытаний конденсаторов в полном объеме сопряжено с рядом затруднений, выраженных, к примеру, в сложности поддержания постоянного измеряемого расхода охлаждающей воды через конденсатор, необходимости распределения опытов по сезонам года для исследования всего эксплуатационного диапазона температур охлаждающей воды на входе в конденсатор, сложности обеспечения требуемых расходов пара в конденсатор (поскольку турбины работают по графику электрической нагрузки, уровень которой определяется диспетчером оптового рынка электроэнергии и мощности).

Для решения задачи построения режимных характеристик конденсатора целесообразно использовать специальные прикладные программные пакеты (ППП), обеспечивающие определение фактических и нормативных энергетических характеристик конденсаторов при наличии ограниченного объема экспериментальных данных. Из-за сложности протекающих в конденсаторах технологических процессов и большого количества влияющих факторов в основу математической модели, используемой в таких программных модулях, обычно положены методики поверочного теплового расчета конденсаторов.

Основные проблемы, возникающие при использовании ППП, связаны с необходимостью достаточно глубокого знания специалистом-теплоэнергетиком, во-первых, общих вопросов теплового расчета конденсаторов и, во-вторых, особенностей функционирования конкретных ППП. Это требует соответствующей технологической подготовки специалиста.

Одна из расчетных работ, предлагаемых к выполнению студентам профиля «Тепловые электрические станции» направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника» в рамках изучения курса «Тепломеханическое и вспомогательное оборудование ТЭС», предусматривает решение частной задачи теплового расчета конденсатора во всем эксплуатационном диапазоне изменения режимных параметров и построения его фактических энергетических характеристик с привлечением результатов натурных испытаний, а также разработку энергетической характеристики наивыгоднейшего (экономического) вакуума в конденсаторе паровой турбины.

Разделы 1, 2, 4 и 5 написаны канд. техн. наук, доц. Г.В. Ледуховским и канд. техн. наук, доц. А.А. Поспеловым; раздел 3 – канд. техн. наук, доц. Г.В. Ледуховским, А.Б. Ульяновым, П.В. Спириным; раздел 6 – канд. техн. наук, доц. Г.В. Ледуховским и В.Ю. Трифоновым.