

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ЭНИН  
\_\_\_\_\_ В.М. Завьялов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

**БАЗОВАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

НАПРАВЛЕНИЕ ООП: 140100 Теплоэнергетика и теплотехника

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ: Тепловые электрические станции

КВАЛИФИКАЦИЯ (СТЕПЕНЬ): Академический бакалавр

БАЗОВЫЙ УЧЕБНЫЙ ПЛАН ПРИЕМА: 2015 г.

КУРС: 4                      СЕМЕСТР: 8

КОЛИЧЕСТВО КРЕДИТОВ: 6

КОД ДИСЦИПЛИНЫ: ДИСЦ.В.М.1.4

Виды учебной деятельности	Временной ресурс по <i>очной форме</i> обучения, час.
Лекции	44
Практические занятия	22
Лабораторные занятия	22
Аудиторные занятия	88
Курсовая работа	
Самостоятельная работа	128
Итого	216

ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ: экзамен, дифференцированный  
зачет

ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ: кафедра атомных и тепловых  
электростанций ЭНИН

ЗАВЕДУЮЩИЙ КАФЕДРОЙ \_\_\_\_\_ А.С. Матвеев

РУКОВОДИТЕЛЬ ООП \_\_\_\_\_ А.М. Антонова

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ \_\_\_\_\_ А.Г. Коротких

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины – формирование у обучающихся новых знаний, умений и навыков в области производства тепловой и электрической энергии, вспомогательного теплообменного оборудования и нагнетателей атомных и тепловых электростанций, что позволит им успешно решать теоретические и практические задачи в их профессиональной деятельности, связанной с проектированием, испытаниями, наладкой и эксплуатацией энергетического оборудования обеспечивающими безопасность, безаварийность электростанций.

В результате освоения данной дисциплины студент приобретает знания, умения и навыки, обеспечивающие достижение целей Ц1–Ц3, Ц5 общей образовательной программы (ООП) 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»:

- Подготовка выпускника к расчетно-проектной и проектно-конструкторской деятельности в области создания теплоэнергетического оборудования с использованием современных технологий высокоэффективного преобразования тепловой энергии в другие виды.
- Подготовка выпускника к производственно-технологической деятельности в области эксплуатации современного высокоэффективного теплоэнергетического оборудования с соблюдением требований защиты окружающей среды и безопасности производства.
- Подготовка выпускника к научно-исследовательской деятельности связанной с выбором, оптимизацией и разработкой высокоэффективных методов и оборудования для преобразования теплоты в другие виды энергии.
- Подготовка выпускника к монтажу, наладке, обслуживанию и испытаниям теплоэнергетического оборудования.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина «Теплообменное оборудование ТЭС и АЭС» относится к вариативному междисциплинарному профессиональному модулю общей образовательной программы.

Дисциплине предшествует освоение дисциплин (ПРЕРЕКВИЗИТЫ):

- ДИСЦ.В.М.1.3 – Тепловые и атомные электростанции;
- ДИСЦ.В.М.1.2 – Паропроизводящие установки ТЭС и АЭС;
- ДИСЦ.В.М.1.1 – Турбины тепловых и атомных электрических станций;
- ДИСЦ.В.М7 – Теплообмен;
- ДИСЦ.В.М7 – Техническая термодинамика.

Содержание разделов дисциплины согласовано с содержанием дисциплин, изучаемых параллельно (КОРЕКВИЗИТЫ):

- ДИСЦ.В.М.1.1 – Турбины тепловых и атомных электрических станций.

Дисциплина относится к специальным дисциплинам профессионального цикла ООП и непосредственно связана со знаниями, навыками и умениями, полученными студентами ранее в дисциплинах «Тепловые и атомные электростанции»; «Паропроизводящие установки ТЭС и АЭС»; «Турбины тепловых и атомных электрических станций»; «Теплообмен»; «Техническая термодинамика». Для решения поставленной цели освоения дисциплины студент должен иметь знания о теплообменных и гидравлических процессах, термодинамических циклах в паро- и газотурбинных установках, основных принципиальных схемах электрических станций. Параллельное изучение в восьмом семестре дисциплины «Турбины тепловых и атомных электрических станций» позволит углубленно более качественно изучить процессы, протекающие во вспомогательном технологическом оборудова-

нии энергетического комплекса электростанций, а также применить теоретические знания в инженерных расчётах энергетических установок.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Составляющие результатов обучения, которые будут получены при изучении данной дисциплины, в соответствии с требованиями ООП и ФГОС представлены в табл. 1.

Таблица 1

Составляющие результатов изучения дисциплины

Результаты обучения (компетенции из ФГОС)	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
Р8 (ОК-1; ПК-2, 6, 7, 8)	38.1	базовых и специальных профессиональных дисциплин, нормативной документации	У8.1	использовать базовые и специальные профессиональные знания, нормативную документацию при проектировании процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации	В8.1	проектирования оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации
	38.2	методов математического анализа и моделирования, в том числе с применением пакетов прикладных программ	У8.2	проводить теоретические и экспериментальные исследования процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации с использованием методов математического анализа и моделирования и пакетов прикладных программ	В8.2	проведения анализа процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации
	38.3	основ теоретического и экспериментального исследования процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации, в том числе с использова-			В8.3	использования пакетов прикладных программ для исследования процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники

		нием пакетов прикладных программ				
P9 (ПК-9, 10, 11)			У9.1	использовать методы инженерного проектирования при решении комплексных и инновационных инженерных задач		
	39.2	методики проведения предварительного технико-экономического обоснования проектных решений	У9.2	проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений	В9.2	анализа эффективности технологий теплоэнергетического производства
P12 (ПК-12; 25, 30)	312.1	критериев выбора и создания теплоэнергетического оборудования, средств измерения и автоматизации	У12.1	пользоваться инструментами и технологией ведения практической инженерной деятельности	В12.1	выбора теплоэнергетического оборудования с использованием справочной литературы
P15 (ПК-25, 26)	315.1	методик испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования			В15.1	использования методик испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства
	315.2	технологии ремонта технологического оборудования теплоэнергетических предприятий	У15.2	составлять сетевые графики ремонта оборудования	В15.2	применения правовой базы стандартизации и сертификации
P16 (ПК-27-30)	316.1	новых технологических процессов и оборудования теплоэнергетических предприятий	У16.1	проводить организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков	В16.1	анализа прогрессивных методов эксплуатации технологического оборудования

В результате освоения дисциплины студентом должны быть достигнуты результаты, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Планируемые результаты освоения дисциплины

№ п/п	Результаты
РД1	Знание основных теплофизических и гидродинамических уравнений для расчета теплообменного и нагнетательного оборудования; марки-

	ровки, конструктивных характеристик и принципа работы вспомогательного оборудования; новых технологических процессов и оборудования; тепловых схем электростанций; схем включения и критериев выбора теплообменного и нагнетательного оборудования.
РД2	Умение использовать профессиональные знания, нормативную документацию при проектировании процессов и оборудования; проводить экспериментальные исследования и измерение параметров при работе оборудования; проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; составлять расчетные схемы и математические модели процессов и теплообменного оборудования и нагнетателей.
РД3	Владение опытом проектирования оборудования; проведения анализа процессов и оборудования, эффективности технологий производства тепловой и электрической энергии; современными методами и средствами проектирования для выполнения конструкторских и поверочных гидравлических и механических расчетов нагнетателей атомных электростанций; выбора оборудования с использованием каталогов и справочной литературы.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### **Раздел 1. Основные виды схем электростанций**

Назначение и типы электростанций. Графики тепловых и электрических нагрузок электростанций. Принципиальные тепловые схемы тепловых и атомных электростанций. Основные виды и классификация вспомогательного теплообменного оборудования на современных электростанциях.

##### **Раздел 2. Паропроизводящие установки электростанций**

Классификация паровых котлов ТЭС и парогенераторов АЭС. Парогенераторы с водоводяным энергетическим реактором и реактором на быстрых нейтронах. Конструкции и основные тепловые, гидравлические и конструкционные характеристики паровых котлов, парогенераторов.

##### **Раздел 3. Регенеративные подогреватели**

Типы регенеративных подогревателей. Конструкции подогревателей низкого давления поверхностного и смешивающего типа. Подогреватели высокого давления. Схемы включения подогревателей в систему регенеративного подогрева. Тепловой и гидравлический расчет регенеративных подогревателей. Определение основных геометрических размеров подогревателей.

##### **Раздел 4. Деаэраторы**

Термическая деаэрация. Классификация и конструкции деаэраторов. Схемы включения деаэраторов. Колонки струйного и струйно-барботажного атмосферных деаэраторов, повышенного давления. Барботажное устройство. Расчет деаэраторов на тепло- и массообмен. Расчет струйного и барботажного отсеков.

Перечень лабораторных работ по разделу: Влияние скорости циркуляции теплоносителя на интенсивность теплообмена.

##### **Раздел 5. Сетевые подогреватели**

Теплофикация. Конструкции сетевых подогревателей. Схемы сетевых установок на ТЭЦ и ГРЭС. Тепловой и гидравлический расчет сетевых подогревателей. Определение основных геометрических размеров подогревателей.

Перечень лабораторных работ по разделу: Влияние режимных параметров на работу кожухотрубного подогревателя.

#### **Раздел 6. Испарительные установки**

Типы испарителей и их конструкции. Схемы включения испарителей. Расчет испарителей.

Перечень лабораторных работ по разделу: Влияние режимных параметров на работу пластничатого подогревателя.

#### **Раздел 7. Расчет теплообменного оборудования на прочность**

Выбор теплообменников, баков и резервуаров. Расчет цилиндрических элементов, днищ, трубных досок.

#### **Раздел 8. Насосные установки**

Назначение и классификация насосов. Схема и основные элементы насосной установки. Основные параметры насосов. Гидравлическая характеристика насоса. Устройство и принцип действия центробежного насоса. Треугольники скоростей потока жидкости в проточной части центробежного насоса. Уравнения неразрывности потока, сохранения энергии (Бернулли), количества и моментов количества движения. Проектирование проточной части насоса. Высота всасывания и кавитация в насосах. Гидравлическая характеристика сети и насоса. Схемы включения насосов. Регулирование производительности и подачи насосов. Конструкции энергетических и струйных насосов.

Перечень лабораторных работ по разделу: Определение гидравлической характеристики насоса.

#### **Раздел 9. Тягодутьевые машины**

Характеристики тягодутьевых машин. Схемы рабочих колес и треугольники скоростей вентиляторов. Регулирование тягодутьевых машин. Кривые сброса мощности при регулировании вентиляторов. КПД дроссельного регулирования. Акустические характеристики тягодутьевых машин. Выбор вентиляторов и дымососов.

Перечень лабораторных работ по разделу: Определение гидравлической характеристики вентилятора.

#### **Раздел 10. Компрессоры**

Компрессорная установка. Типы компрессоров. Применение компрессоров на ТЭС и АЭС. Основные параметры компрессоров. Термодинамика компрессорных машин. Мощность и КПД компрессора. Объемные компрессоры. Индикаторная диаграмма объемных компрессоров.

Перечень лабораторных работ по разделу: Испытание компрессора.

## **6. ОРГАНИЗАЦИЯ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **6.1. Виды и формы самостоятельной работы**

Самостоятельная работа студентов включает текущую и творческую проблемно-ориентированную самостоятельную работу.

*Текущая самостоятельная работа* направлена на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений и включает:

- работу с лекционным материалом, поиск и обзор литературы, электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ;
- опережающую самостоятельную работу;

- перевод текстов с иностранных языков;
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- подготовку к лабораторным работам, практическим занятиям;
- подготовку к контрольной работе, зачету.

*Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа* включает:

- поиск, анализ, структурирование и презентацию информации;
- выполнение курсового проекта;
- выполнение расчётно-графических работ;
- исследовательскую работу, участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- анализ статистических и фактических материалов по заданной теме, проведение расчётов, составление схем и моделей на основе статистических материалов.

### 6.3. Контроль самостоятельной работы

Оценка результатов самостоятельной работы организуется следующим образом:

- опросом по теме самостоятельной работы;
- оцениванием реферата и ответов на вопросы;
- оцениванием защиты курсовой работы и ответов на вопросы.

При выполнении самостоятельной работы рекомендуется использовать:

- материалы, размещенные на персональном сайте преподавателя [http://portal.tpu.ru/SHARED/k/KOROTKIKH/educational\\_work](http://portal.tpu.ru/SHARED/k/KOROTKIKH/educational_work);
- ресурсы в LMS Moodle;
- материалы, размещенные на сайте научной электронной библиотеки <http://elibrary.ru>;
- материалы, размещенные на сайте научно-технической библиотеки ТПУ <http://www.lib.tpu.ru>.

## 7. СРЕДСТВА ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам контролируемых мероприятий, представленных в табл. 4.

Таблица 4

Контролирующие мероприятия дисциплины

Контролирующие мероприятия	Результаты обучения
Выполнение и защита индивидуальных домашних заданий	РД1, РД2
Выполнение и защита лабораторных работ	РД1, РД2, РД3
Контрольные работы, тестирование	РД1, РД2, РД3
Экзамен, дифференцированный зачет	РД1, РД2, РД3
Курсовая работа	РД1, РД2, РД3

Для оценки качества освоения дисциплины при проведении контролируемых мероприятий предусмотрены следующие средства (фонд оценочных средств):

- вопросы входного контроля;
- контрольные вопросы, задаваемых при выполнении и защитах лабораторных ра-

бот;

- контрольные вопросы, задаваемые при проведении практических занятий,
- вопросы для самоконтроля;
- вопросы тестирований;
- вопросы, выносимые на экзамены и зачеты, защиту курсовой работы.

*Пример вопросов входного контроля*

1. Термодинамические процессы идеального газа и водяного пара.
2. Представить процесс расширения водяного пара в турбине. Полезная работа турбины.
3. Изобразите схему паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина, а также цикл этой установки в  $p$  $v$ - и  $T$  $s$ -диаграммах.
4. Основные виды теплообмена. Что такое сложный теплообмен, теплопередача?
5. Дифференциальные уравнения теплопроводности, сплошности.

*Пример контрольных вопросов*

1. Принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций.
2. Типы и назначение регенеративных подогревателей.
3. Колонки деаэраторов повышенного давления.
4. Теплофикация. Конструкции сетевых подогревателей.
5. Классификация насосов. Схема насосной установки.

Экзаменационные билеты включают два типа заданий: 2 теоретических вопроса и проблемный вопрос или расчетная задача.

*Пример экзаменационных вопросов*

1. Типы и назначение регенеративных подогревателей.
2. Схемы сетевых установок на ТЭЦ.
3. Определить расход водяного пара, если тепловая мощность подогревателя составляет 10 МВт и давление отбора пара из турбины 0.6 МПа.

## **8. РЕЙТИНГ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Руководящими материалами по текущему контролю успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации студентов Томского политехнического университета», утвержденными приказом ректора № 77/од от 29.11.2011 г.

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

- текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы и др.) и результаты практической деятельности (решение задач, выполнение заданий, решение проблем и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);

- промежуточная аттестация (экзамен, зачет) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на экзамене (зачете) студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

В соответствии с «Календарным планом выполнения курсовой проекта (работы)»:

- текущая аттестация (оценка качества выполнения разделов и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), к моменту завершения



семестра студент должен набрать не менее 22 баллов);

- промежуточная аттестация (защита проекта (работы)) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), по результатам защиты студент должен набрать не менее 33 баллов).

Итоговый рейтинг выполнения курсового проекта (работы) определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Основная литература**

1. Галашов Н.Н. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование электростанций: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 244 с.

2. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые и атомные электростанции: учебник для вузов. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 463 с.

3. Тепловые электрические станции: учебник для вузов / Буров В.Д., Лавыгина В.М., Седлова А.С., Цанева С.В. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. – 466 с.

### **9.2. Дополнительная литература**

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: учебник для вузов. – Москва: АРИС, 2014. – 417 с.

2. Зорин В.М. Атомные электростанции: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2012. – 670 с.

3. Коротких А.Г. Теплопроводность материалов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 97 с. // <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2012/m268.pdf>.

4. Антонова А.М., Воробьев А.В. Атомные электростанции: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. // <http://www.lib.tpu.ru/fulltext3/m/2010/m43.pdf>.

5. Коротких А.Г., Шаманин И.В. Теплогидравлические процессы в ядерном реакторе и расчет их основных параметров: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 108 с. // <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2010/m189.pdf>.

### **9.3. Интернет-ресурсы**

1. Издательство Наука и Технологии: Журналы // [http://www.nait.ru/journals/index.php?p\\_journal\\_id=19](http://www.nait.ru/journals/index.php?p_journal_id=19).

2. ИАТЭ НИЯУ «МИФИ» // <http://www.iate.obninsk.ru/node>.

3. Все о ядерных станциях для Вас – ядерная энергетика // <http://www.allog.ru/>.

4. ELibrary – Журнал «Теплоэнергетика» // <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=8246>.

5. ELibrary – Журнал «Известия РАН. Энергетика» // <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=9333>.

6. Nuclear power reactor in the world // [http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/rds2-26\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/rds2-26_web.pdf).

7. О журнале Электрические станции // <http://www.elst.energy-journals.ru>.

8. Российские технологии водоводяных энергетических реакторов ВВЭР: состояние и перспектива // [http://www.promvest.info/news/otraslipredaticle.php?ELEMENT\\_ID=22003](http://www.promvest.info/news/otraslipredaticle.php?ELEMENT_ID=22003).

## **10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Кафедра атомных и тепловых электростанций располагает лабораторными стендами, энергетическим оборудованием: паровой котел, деаэрактор, пластинчатые теплообменные аппараты, насосы, электрические нагреватели, калориферы, систему химической очистки воды, датчики температур, давления, манометры, термометры, измерители расхода, мультимедийным оборудованием и компьютерным классом с персональными компьютерами Pentium 4.

Таблица 5

№ п/п	Наименование (компьютерные классы, учебные лаборатории, оборудование)	Корпус, ауд., количество установок
1	Компьютерный класс	кор. 4, ауд. 31, 15 комп.
2	Компьютерный класс	кор. 4, ауд. 32, 20 комп.
3	Компьютерный класс	кор. 4, ауд. 101А, 15 комп.
4	Лаборатория физического моделирования	кор. 4, ауд. 101Б и 101В, 6 теплообменников, 5 теплообменных контуров, 4 электрических котла, 5 тепловентиляторов, 1 паровой котел, 1 деаэрактор, 2 насосных установки, измерительные арматура и приборы, 1 вентилятор, 1 компрессор, программное обеспечение управления схемой.

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по направлению и профилю подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Программа одобрена на заседании  
кафедры атомных и тепловых электростанций  
(протокол № 58 от «03» 06.2015 г.).

Автор: Коротких Александр Геннадьевич

Рецензенты: Беспалов Владимир Ильич  
Раков Юрий Яковлевич  
Галашов Николай Никитович