

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

С.Т. Князев  
2020 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

**Код модуля**  
1156182

**Модуль**  
Тепломеханическое оборудование АЭС

Екатеринбург, 2020

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> Проектирование и эксплуатация атомных станций	<b>Код ОП</b> 14.05.02/33.01
<b>Направление подготовки</b> Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 14.05.02

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Шарипов Рамиль Нуриханович	–	Старший преподаватель	Кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии
2	Ташлыков Олег Леонидович	Кандидат технических наук, доцент	Доцент	Кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии
3	Целищев Максим Федорович	Кандидат технических наук, доцент	Доцент	Кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии

**Согласовано:**

Управление образовательных программ



Р. Х. Токарева

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ *Тепломеханическое оборудование АЭС*

## 1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль «Тепломеханическое оборудование АЭС» формирует представление как о процессах, происходящих в основном оборудовании атомной станции, так и о конструктивных особенностях оборудования и систем, что необходимо для формирования способности решения профессиональных задач. Модуль состоит из трех дисциплин.

Дисциплина «Парогенераторы и теплообменники атомных станций» направлена на изучение основных процессов, происходящих в парогенераторах и теплообменниках атомных станций, методов выбора и оптимизации теплогидравлических, технологических и технико-экономических параметров парогенераторов и теплообменников. Студенты получают практические навыки по тепловому, гидравлическому и прочностному расчету элементов парогенератора, изучают конструкции и режимы эксплуатации парогенераторов и теплообменников атомных станций с реакторами различных типов.

Дисциплина «Турбомашины АЭС» посвящена изучению турбинного оборудования, используемого на атомных электрических станциях. Рассматриваются основные показатели турбоустановок, принципы преобразования энергии в турбинной ступени, конструкции элементов многоступенчатой турбины и вспомогательного оборудования турбоустановки. Изучаются общие принципы регулирования, защиты и маслоснабжения турбин. Студенты приобретают практические навыки по расчету параметров цикла паротурбинной и газотурбинной установки, определению кинематических и геометрических характеристик ступеней, распределению теплового перепада турбины по ступеням и определению числа ступеней.

Дисциплина «Насосы, трубопроводы и арматура атомных станций» формирует знание основных параметров, особенностей конструкции и характеристик насосного оборудования атомных станций. Рассматриваются основы теории лопастных центробежных насосов, режимы течения жидкости и способы регулирования работы насосной установки. Студенты приобретают способность выполнять гидравлический расчет проточной части центробежного колеса различных типов насосного оборудования. Изучаются особенности конструкции и работы арматуры и трубопроводов атомных станций.

## 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1.	Насосы, трубопроводы и арматура атомных станций	4
2.	Парогенераторы и теплообменники атомных станций	8
3.	Турбомашины атомных станций	6
ИТОГО по модулю:		18

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

<b>Пререквизиты модуля</b>	<i>Материаловедение Механика и прикладная физика Основы термодинамики, гидравлики и теплотехники</i>
<b>Постреквизиты и корреквизиты модуля</b>	<i>Атомные станции Монтаж, ремонт и модернизация оборудования атомных станций</i>

**1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю**

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Насосы, трубопроводы и арматура атомных станций	ПК-3 - Способен в составе рабочей группы проводить испытания основного и вспомогательного оборудования атомных станций и ядерных энергетических установок в процессе разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации, проводить физические эксперименты на этапах физического и энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических параметров реакторной установки и АС в целом	П-4 - Выполнить оценку устойчивости работы насоса в сети и основных параметров насоса при параллельном и последовательном включении
	ПК-4 - Способен проектировать в составе рабочей группы элементы оборудования и технологических систем объектов использования атомной энергии с учетом требований ядерной, радиационной, пожарной, промышленной и экологической безопасности и с использованием современных информационных технологий	З-11 - Изложить порядок и методику расчета рабочего колеса насоса У-11 - Выполнять расчет проточной части рабочего колеса насоса У-12 - Выбирать толщину стенки трубопровода с учетом режима работы, используя расчетные методы П-4 - Выполнять в рамках учебных заданий конструкторские расчеты насосных агрегатов атомных станций П-6 - Иметь практический опыт выполнения прочностных расчетов элементов конструкций, оборудования и трубопроводов атомных станций
	ПК-6 - Способен в составе рабочей группы организовывать безопасную и экономичную эксплуатацию реакторной установки или оборудования и технологических систем блока атомной электростанции, в том числе проводить	З-5 - Описывать конструкции и эксплуатационные характеристики основного насосного оборудования атомных станций З-7 - Описывать особенности конструкции и эксплуатации арматуры атомных станций З-8 - Характеризовать конструктивные особенности и материалы трубопроводов атомных станций

	нейтронно-физические, теплогидравлические расчеты, анализировать технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты АС	
Парогенераторы и теплообменники атомных станций	ОПК-6 - Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта	3-1 - Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого оборудования и реализуемых технологических процессов 3-2 - Назвать имеющиеся ограничения режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов
	ПК-4 - Способен проектировать в составе рабочей группы элементы оборудования и технологических систем объектов использования атомной энергии с учетом требований ядерной, радиационной, пожарной, промышленной и экологической безопасности и с использованием современных информационных технологий	3-9 - Изложить порядок и методы теплового, гидравлического и прочностного расчета парогенераторов и теплообменников атомных станций У-9 - Выполнять теплогидравлические и прочностные расчеты узлов и элементов теплообменного оборудования с использованием современных методик и средств автоматизированного проектирования П-3 - Иметь практический опыт теплогидравлических и прочностных расчетов теплообменного оборудования атомных станций
	ПК-6 - Способен в составе рабочей группы организовывать безопасную и экономичную эксплуатацию реакторной установки или оборудования и технологических систем блока атомной электростанции, в том числе проводить нейтронно-физические, теплогидравлические расчеты, анализировать технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты АС	3-1 - Описывать технологический процесс производства тепловой и электрической энергии на атомных станциях 3-2 - Характеризовать тепловые схемы атомных станций с разными типами реакторов 3-4 - Описывать конструкции и технические характеристики парогенераторов и теплообменного оборудования атомных станций с разными типами реакторов 3-13 - Характеризовать методы расчета и рациональной организации тепловых процессов в оборудовании и технологических системах атомных станций У-3 - Анализировать теплогидравлические процессы, происходящие в парогенераторах и теплообменном оборудовании атомных станций У-9 - Проводить физические, теплофизические, и теплогидравлические расчеты и измерения для обоснования и контроля режимов эксплуатации ядерных энергоблоков

		Д-1 - Демонстрировать готовность соблюдать принципы культуры безопасности при эксплуатации систем и оборудования атомных станций
Турбомашин атомных станций	ОПК-6 - Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта	З-1 - Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого оборудования и реализуемых технологических процессов З-2 - Назвать имеющиеся ограничения режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов У-1 - Технически грамотно формулировать задания по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов с учетом имеющихся ограничений режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов
	ПК-4 - Способен проектировать в составе рабочей группы элементы оборудования и технологических систем объектов использования атомной энергии с учетом требований ядерной, радиационной, пожарной, промышленной и экологической безопасности и с использованием современных информационных технологий	З-10 - Изложить порядок и теплого и прочностного расчета турбомашин атомных станций У-10 - Выполнять тепловой и прочностной расчеты энергетических турбомашин П-5 - Выполнять в рамках учебных заданий расчеты паротурбинных установок атомных станций
	ПК-6 - Способен в составе рабочей группы организовывать безопасную и экономичную эксплуатацию реакторной установки или оборудования и технологических систем блока атомной электростанции, в том числе проводить нейтронно-физические, теплогидравлические расчеты, анализировать технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты АС	З-6 - Описывать технические характеристики, конструкцию и особенности эксплуатации энергетических турбомашин, их элементов и узлов У-4 - Анализировать процессы, происходящие в оборудовании турбоустановки атомной станции

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в форме:

Очная.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Насосы, трубопроводы и арматура**  
**атомных станций**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Шарипов Рамиль Нуриханович	–	Старший преподаватель	Кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

Авторы:

- Шарипов Рамиль Нуриханович, старший преподаватель, кафедра «Атомные станции и возобновляемые источники энергии»

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология;
- С применением электронного обучения на основе электронных учебных курсов, размещенных на LMS-платформах УрФУ
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Трубопроводы АЭС	Назначение и функции трубопроводов, арматуры и насосов. Основные требования к трубопроводам, конструктивные особенности исполнения, категории трубопроводов, материалы. Опоры и подвески трубопроводов. Техническое обслуживание.
P2	Арматура АЭС	Классификация по функциональному назначению, по способу запираания потока. Требования, предъявляемые к арматуре. Основные правила эксплуатации. Конструктивное исполнение.
P3	Насосное оборудование АЭС	
P3.T1	Основные параметры насосов и их характеристики	Основное насосное оборудование АЭС. Главные циркуляционные насосы (ГЦН). Питательные насосы, схемы включения. Конденсатные насосы, схемы включения. Циркуляционные насосы. Параметры насосов: подача, давление, удельная работа, напор насоса, всасывающая способность; понятие кавитационного запаса, мощность, КПД насоса. Характеристики насосов.
P3.T2	Основы теории лопастных центробежных насосов	Основные уравнения насоса. Уравнения подобия, коэффициенты быстроходности, потери в насосах. Подводящие и отводящие устройства, рабочие колеса насосов. Осевые и радиальные силы, влияющие на работу насоса.
P3.T3	Работа насосной установки	Характеристика системы «насос – сеть», устойчивость работы насоса в сети, явление помпажа. Регулирование работы насосной установки. Совместная работа насосов. Параллельное и последовательное включение.
P3.T4	Насосные установки для АЭС	Герметические ГЦН, устройство, характеристика. Насосы с механическим уплотнением вала, устройство, характеристика. Насосы для жидкометаллических теплоносителей.

## 1.3. Программа дисциплины реализуется:

на государственном языке Российской Федерации (русский).

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

### **Электронные ресурсы (издания)**

1. Лаптева, Н. Е. Центробежные насосы : учебно-методическое пособие / Н.Е. Лаптева .— Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2012 .— 56 с. — ISBN 978-5-7996-0742-5 .— [URL:http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=239828](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=239828)
2. Тихоненков, Б. П. Насосы и насосные станции : учебное пособие. 1. Насосы / Б.П. Тихоненков .— Москва : Алтайр-МГАВТ, 2005 .— 121 с. — <[URL:http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=430699](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=430699)
3. Тихоненков, Б. П. Насосы и насосные станции : учебное пособие. 2. Насосные станции / Б.П. Тихоненков .— Москва : Алтайр-МГАВТ, 2005 .— 186 с. — <[URL:http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=430700](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=430700)>

### **Печатные издания**

1. Локалов Г. А. Центробежные насосы : конспект лекций / Г. А. Локалов, В. М. Марковский ; науч. ред. К. Э. Аронсон ; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б.Н. Ельцина .— Екатеринбург : УрФУ, 2011 .— 76 с. – 10 экз.
2. Шерстюк, Александр Николаевич. Насосы, вентиляторы, компрессоры : учеб. пособие для энергет. специальностей вузов / А. Н. Шерстюк .— Москва : Высшая школа, 1972 .— 342 с. : ил. ; 22 см .— Библиогр.: с. 337-339 (50 назв.). — 23 экз.

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные**

1. Научная электронная библиотека eLibrary
2. Реферативная БД Scopus

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. ТЕХЭКСПЕРТ  
Открытый фонд НТД (ГОСТ, СНИПов, СанПиНов, ВСН, РД, РДС, СП, ГЭСН, ФЕР, ТЕР, ГН, правовые акты).  
URL: <http://www.cntd.ru/>.
2. РОССТАНДАРТ (тексты новых стандартов)  
URL: <http://protect.gost.ru/default.aspx>; <http://libgost.ru/>.

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

**Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя, оснащенное персональным компьютером Доска аудиторная Периферийное устройство	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc  Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc  Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Лабораторные занятия	Учебно-тренировочный комплекс кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», оснащенный элементами трубопроводов с регулирующей арматурой и насосным оборудованием.	Не требуется
4	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Парогенераторы и теплообменники**  
**атомных станций**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Ташлыков Олег Леонидович	Кандидат технических наук, доцент	Доцент	Кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

Авторы:

- Ташлыков Олег Леонидович, доцент, кафедра «Атомные станции и возобновляемые источники энергии»

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология;
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
<b>P1</b>	<b>Конструкции и режимы работы парогенераторов и теплообменного оборудования АЭС</b>	
<b>P1.T1</b>	Тепловые схемы АЭС	Принципиальные схемы производства пара на АЭС. Одно-, двух- и трехконтурные схемы. Общие характеристики ПГ АЭС. Требования, предъявляемые к парогенераторам и теплообменникам АЭС.
<b>P1.T2</b>	Конструкционные схемы и конструкции ПГ и теплообменников АЭС	Первичные теплоносители. Требования к теплоносителям АЭС. Жидкие теплоносители. Газообразные теплоносители. Классификация парогенераторов. Конструкционные схемы и конструкции парогенераторов, обогреваемых водой под давлением, органическими и газовыми теплоносителями, жидким металлом. Конструкционные схемы теплообменного оборудования АЭС.
<b>P1.T3</b>	Процессы, протекающие в ПГ и теплообменном оборудовании АЭС	Гидродинамика и теплообмен. Физико-химические процессы. Влияние процессов, протекающих в парогенераторе, на надежность и экономичность основного оборудования АЭС. Теплообмен в парогенераторах при движении однофазных сред, при конденсации, при кипении воды. Лучистый теплообмен в парогенераторах, обогреваемых газовым теплоносителем. Гидродинамические процессы в парогенераторах. Сопротивление движению однофазного потока. Основные закономерности гидродинамики двухфазного потока. Безнапорное движение пароводяной смеси.
<b>P1.T4</b>	Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена	Температурный режим работы поверхностей теплообмена. Тепловая разверка в поверхностях теплообмена. Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена с однофазной средой. Тепловые и гидродинамические условия работы испарительных поверхностей теплообмена с принудительным движением рабочего тела. Испарительные поверхности с естественной циркуляцией.
<b>P1.T5</b>	Закономерности перехода примесей в пар	Требования к чистоте пара. Переход примесей из воды в пар. Растворимость веществ в паре. Механический унос примесей с насыщенным паром. Методы получения чистого пара.
<b>P1.T6</b>	Водный режим парогенераторов АЭС	Коррозия поверхностей теплообмена со стороны рабочего тела. Отложения примесей воды. Питательная вода парогенераторов. Водный режим прямоточных парогенераторов. Водный режим парогенераторов с многократной циркуляцией.
<b>P2</b>	<b>Проектирование парогенераторов и теплообменного оборудования АЭС</b>	

<b>P2.T1</b>	Тепловой, конструкционный и гидродинамический расчеты ПГ и теплообменного оборудования	Задачи проектирования парогенераторов и виды расчетов. Общие положения теплового, конструкционного и гидродинамического расчетов. Методика теплового, конструкционного и гидродинамического расчетов. Парогенераторы, обогреваемые водой под давлением, конденсирующимся насыщенным паром, органическими теплоносителями, жидкими металлами, газовыми теплоносителями. Особенности расчета прямоточных парогенераторов.
<b>P2.T2</b>	Расчет водного режима и сепарационных устройств	Расчет водного режима прямоточных парогенераторов, парогенераторов с многократной циркуляцией. Расчет сепарационных и промывочных устройств.
<b>P2.T3</b>	Конструкционные материалы и расчет на прочность	Выбор материалов для корпусов и теплообменных поверхностей парогенератора. Расчет на прочность трубных досок, корпуса, крышек, днищ.
<b>P2.T4</b>	Режимы эксплуатации парогенераторов	Режимы пуска парогенератора, работа на номинальной мощности, переходные режимы, режим останова и расхолаживания.
<b>P2.T5</b>	Надежность работы ПГ и теплообменного оборудования АЭС	Особенности эксплуатации парогенераторов и теплообменников различных типов. Анализ надежности горизонтальных и вертикальных парогенераторов, обогреваемых водным теплоносителем. Анализ надежности парогенераторов, обогреваемых жидкотеплопроводящим теплоносителем.

### 1.3. Программа дисциплины реализуется:

на государственном языке Российской Федерации (русский).

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные ресурсы (издания)

Отсутствуют.

### Печатные издания

1. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1 / А.И. Бельтюков, А.И. Карпенко, С.А. Полуяктов, О.Л. Ташлыков, Г.П. Титов, А.М. Тучков, С.Е. Щеклеин; под общ. ред. С.Е.Щеклеина, О.Л. Ташлыкова. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 548 с. – 5 экз + 25 на кафедре.
2. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 2/А.И. Бельтюков, А.И. Карпенко, С.А. Полуяктов, О.Л. Ташлыков, Г.П. Титов, А.М. Тучков, С.Е. Щеклеин; под общ. ред. С.Е.Щеклеина, О.Л. Ташлыкова. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 420 с. – 5 экз + 25 на кафедре.
3. Кириллов, Павел Леонидович. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы / П. В. Кириллов, Ю. С. Юрьев, В. П. Бобков ; Под общ. ред. П. Л. Кириллова .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1990 .— 358 с. : ил. ; 22 см. — без грифа .— ISBN 5-283-03829-7. – 21 экз
4. Ташлыков О.Л. Технологии ремонта парогенерирующей установки: учебное пособие / О.Л.Ташлыков. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 118 с. – 21 экземпляр
5. Рассохин, Николай Георгиевич. Парогенераторные установки атомных электростанций / Учебник для вузов .— 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Атомиздат, 1987 .— 383 с. — без грифа . – 20 экземпляров
6. Ривкин, Соломон Лазаревич. Термодинамические свойства воды и водяного пара : справочник / С. Л. Ривкин, А. А. Александров .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1984 .— 80 с. : диагр. ; 26 см. — Библиогр.: с. 79 (10 назв.). – 37

экземпляров.

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные**

1. Научная электронная библиотека eLibrary
2. Реферативная БД Scopus

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

#### **1. ТЕХЭКСПЕРТ**

Открытый фонд НТД (ГОСТ, СНИПов, СанПиНов, ВСН, РД, РДС, СП, ГЭСН, ФЕР, ТЕР, ГН, правовые акты).

URL: <http://www.cntd.ru/>.

#### **2. РОССТАНДАРТ (тексты новых стандартов)**

URL: <http://protect.gost.ru/default.aspx>; <http://libgost.ru/>.

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

### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

<b>№ п/п</b>	<b>Виды занятий</b>	<b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя, оснащённое персональным компьютером Доска аудиторная Периферийное устройство	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc  Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
3	Лабораторные занятия	Учебно-тренировочный комплекс кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», оснащённый макетами парогенераторов АЭС.	Не требуется
4	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	Не требуется

		Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Турбомашины атомных станций**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Целищев Максим Федорович	Кандидат технических наук, доцент	Доцент	Кафедра турбин и двигателей

## 2. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

Авторы:

- Целищев Максим Федорович, доцент, кафедра турбин и двигателей

### 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология;
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

### 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Тепловые циклы и принципиальные схемы турбоустановок. Место и назначение паровых и газовых турбин в схемах атомных электростанций. Энергетическая программа о развитии атомной энергетики. Современное состояние турбиностроения в России и за рубежом. Вопросы охраны окружающей среды АЭС.
P2	Тепловые схемы турбоустановок АЭС и их экономичность	Особенности схем турбин для АЭС. Коэффициенты полезного действия турбины и всей турбоустановки. Пути повышения экономичности турбоустановок. Влияние эффективности работы турбомашин на экономичность АЭС; влияние начальных и конечных параметров пара; влияние влажности. Промежуточная сепарация и перегрев пара. Выбор разделительного давления в турбинах АЭС. Регенерация тепла. Перспективы применения на АЭС ГТУ. Типы турбин и их классификация. Стандартизация основных параметров турбин.
P3	Преобразование энергии рабочего тела в турбинной ступени	Ступень турбины. Тепловой процесс в турбинной ступени. Активный и реактивный способы расширения в ступени. Степень реакции. Треугольники скоростей и давления. Усилия, действующие на лопатки. Классификация решеток; основные обозначения. Потери энергии в турбинной ступени. Конструктивные характеристики сопловых и рабочих решеток. Коэффициент полезного действия ступени и его зависимость от соотношения скоростей. Расход через ступень и ее размеры. Полный и парциальный подвод рабочего тела к ступени. Дополнительные потери в ступенях турбин (потери на трение, вентиляцию и выколачивание). Рабочий процесс в ступени влажнопаровой турбины. Процесс расширения влажного пара. Движение влаги в турбине. Потери энергии от влажности. КПД влажнопаровой ступени. Эрозия; активные и пассивные методы борьбы с ней. Сепарация влаги в турбине: внутреннее влагоудаление, влагоулавливание за направляющими лопатками и за рабочим колесом. Расчет турбинной ступени, работающей в перегретом паре. Особенности течения пара в ступенях с длинными лопатками; методы расчета этих ступеней. Особенности расчета турбинной ступени, работающей во влажном паре.
P4	Многоступенчатые турбины (МСТ)	Конструктивная схема МСТ и ее связь с процессом преобразования энергии. Преимущества МСТ. Основы выбора конструкции. Деление

		<p>МСТ на цилиндры и отсеки. Регулирующая ступень. Ступени с короткими лопатками. Особенности ступеней с длинными лопатками. Процесс расширения пара в турбине. Коэффициент возврата тепла и его влияние на КПД. Характеристический коэффициент и его связь с числом ступеней. Влияние влажности на эффективность работы МСТ. Выбор числа оборотов турбины. Выбор разделительного давления и разбивка теплоперепада по цилиндрам. Расчет первой и последней ступени цилиндров. Осевые усилия в МСТ и способы их уравнивания. Потери от утечек пара в турбинах. Устройство и принцип действия концевых уплотнений МСТ. Расчет ступенчатого лабиринтового уплотнения. Особенности расчета и проектирования уплотнений турбин, работающих на радиоактивных средах.</p>
P5	Работа турбины при переменном режиме	<p>Переменный режим работы турбинной установки. Причины, обуславливающие переменный режим работы, классификация режимов. Работа сопел при переменном режиме. Расширение потока в косом срезе решеток. Переменный режим работы ступени. Влияние соотношения скоростей на КПД и реакцию ступени при переменном режиме. Изменение давлений и теплоперепадов по ступеням МСТ при переменном режиме работы. Тепловой процесс в паровой турбине при переменном расходе пара. Типы парораспределения МСТ. Выбор типа парораспределения для турбин АЭС. Влияние изменений параметров свежего пара и давления в конденсаторе на мощность и экономичность турбин. Диаграммы, характеризующие переменный режим работы турбины.</p>
P6	Конструкция основных элементов турбин	<p>Конструкция и материал рабочих лопаток. Растяжение, изгиб и вибрация рабочих лопаток. Обеспечение надежности облопачивания при колебаниях лопаток. Диски. Цельнокованные и комбинированные роторы. Посадка диска на вал, напряжение в диске. Критическое число оборотов ротора. Соединительные муфты; их типы, конструкции, материалы. Статоры турбин. Корпус цилиндра. Крепление корпуса и обеспечение тепловых расширений. Центровка. Фланцевое соединение. Диафрагмы. Прочность и прогиб диафрагм. Обоймы. Крепление в корпусах диафрагм и обойм. Подшипники. Принцип работы подшипников. Опорные, упорные и опорно-упорные подшипники. Общие принципы конструирования турбин АЭС. Типовые конструкции влажнопаровых турбин. Паровые турбины для АЭС высоких начальных параметров. Методы расчета на прочность элементов турбин АЭС. Условия работы элементов турбин. Металлы, применяемые в турбинах АЭС.</p>
P7	Система регулирования, защиты и маслоснабжения турбин	<p>Общие принципы регулирования турбин. Схемы прямого и непрямого регулирования. Примеры принципиальных схем регулирования. Особенности регулирования турбин АЭС. Статическая характеристика регулирования. Нечувствительность регулирования. Параллельная работа турбоагрегатов. Регулирование и защита турбин АЭС. Конструкции органов парораспределения, регулирования и защиты турбины. Схема маслоснабжения турбин АЭС. Основные элементы системы подачи и распределения масла. Аварийная смазка подшипников. Вопросы пожарной безопасности. Физико-химические и эксплуатационные свойства турбинных масел. Обеспечение надежности систем регулирования, защиты и маслоснабжения турбин.</p>
P8	Конденсационная установка (КУ)	<p>Назначение, состав и схемы конденсационной установки (КУ). Взаимодействие основных потоков в конденсаторе. Водяная и паровая стороны конденсатора. Принципы рациональной компоновки трубного пучка конденсатора. Паровое сопротивление, присосы воздуха и его удаление. Обзор современных конструкций конденсаторов паровых турбин АЭС. Методики теплового и гидродинамического расчета конденсаторов. Насосы КУ. Принцип</p>

		действия, конструкция воздушных насосов (эжекторов). Особенности работы и выбора конденсатных и циркуляционных насосов. Основы эксплуатации КУ. Обеспечение воздушной и гидравлической плотности конденсатора. Загрязнение труб конденсатора. Способы контроля состояния поверхности теплообмена и обеспечение оптимальных сроков чистки конденсаторов. Повышение эффективности работы КУ за счет интенсификации теплообмена в конденсаторах паровых турбин.
P9	Вспомогательное оборудование турбинной установки	Регенеративные подогреватели: смешивающие и поверхностного типа. Принцип действия и конструкция. Деаэраторы питательной воды, принцип действия и устройство. Питательные насосы и их привод. Сепараторы и промперегреватели. Конструкция и принцип действия.
P10	Основы эксплуатации паротурбинных установок	Пусковая схема турбоустановки. Подготовка к пуску и пуск турбоустановки из холодного состояния. Особенности пуска турбины из неостывшего состояния. Обслуживание турбоустановки при установившемся режиме работы. Разгрузка турбоагрегата. Выбег ротора. Аварии и неполадки турбин АЭС.
P11	Газотурбинные установки (ГТУ) на АЭС	Классификация ГТУ и стандартизация основных параметров. Циклы ГТУ при $P = \text{const}$ . Выбор рабочего тела для ГТУ на диссоциирующих газах. Обзор конструкций современных ГТУ. Преимущества и недостатки современных газовых турбин в сравнении с другими тепловыми двигателями. Особенности конструкции газовых турбин. Перспективы применения ГТУ на АЭС.

### 1.3. Программа дисциплины реализуется:

на государственном языке Российской Федерации (русский).

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные ресурсы (издания)

Отсутствуют.

### Печатные издания

1. Трояновский Б.М. Паровые и газовые турбины атомных электростанций: учебное пособие для вузов/Б.М. Трояновский, Г.А. Филиппов, Е. Булкин. М.: Энергоатомиздат, 1985. 256 с. – 25 экз.
2. Недошивина, Татьяна Анатольевна. Динамическая надежность и диагностика турбин : учебное пособие / Т. А. Недошивина ; науч. ред. Е. В. Урьев ; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина .— Екатеринбург : УрФУ, 2010 .— 107 с. : ил. ; 21 см .— Библиогр.: с. 105-106 (25 назв.). — без грифа .— ISBN 978-5-321-01799-9, 20 экз.
3. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции: учебник для вузов/Т.Х. Маргулова. М.: Высшая школа, 1984. 304 с. – 50 экз.
4. Паровые турбины. Книга 1 и 2/А.В. Щегляев. М.: Энергоатомиздат, 1993. – 384 с., 416 с. – 125 экз.
5. Трояновский Б.М. Турбины для атомных электростанций/Б.М. Трояновский. М.: Энергия, 1973. 184 с. - 3+6 экз. другого года
6. Косяк Ю.Ф. Эксплуатация турбин АЭС/Ю.Ф. Косяк, В.Н. Галанцан, В.А. Палей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 144 с. – 11 экз.
7. Тепловые и атомные электрические станции: справочник; под ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. М.: Энергоатомиздат, 1989. 608 с. - 22 экз.

### Профессиональные базы данных, информационно-справочные

1. Научная электронная библиотека eLibrary

## 2. Реферативная БД Scopus

### Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

#### 1. ТЕХЭКСПЕРТ

Открытый фонд НТД (ГОСТ, СНИПов, СанПиНов, ВСН, РД, РДС, СП, ГЭСН, ФЕР, ТЕР, ГН, правовые акты).

URL: <http://www.cntd.ru/>.

#### 2. РОССТАНДАРТ (тексты новых стандартов)

URL: <http://protect.gost.ru/default.aspx>; <http://libgost.ru/>.

## 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя, оснащённое персональным компьютером Доска аудиторная Периферийное устройство	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc  Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется