

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет атомной энергетики и технологий
Кафедра «Атомная энергетика»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по дисциплине «Турбомашины»

Специальность

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Основная профессиональная образовательная программа
«Системы контроля и управления атомных станций»

Квалификация выпускника
инженер-физик

Форма обучения
Очная

Балаково

Цель освоения дисциплины: формирование знаний о современных турбомашинах, используемых на АЭС.

Дисциплина изучается в соответствии с профессиональными стандартами:

- Профессиональный стандарт «24.078. Специалист-исследователь в области ядерно-энергетических технологий»;
- Профессиональный стандарт «24.081. Специалист (инженер) в области технического обслуживания и ремонта на атомной станции»;
- Профессиональный стандарт «24.033. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики атомной станции»;
- Профессиональный стандарт «24.088. Специалист (инженер) по эксплуатации и руководству эксплуатацией блока (блоков) атомной электростанции».

Место дисциплины в структуре ООП ВО

Для изучения данной дисциплины студент должен обладать начальными знаниями по следующим дисциплинам: «Техническая термодинамика»; «Гидродинамика и теплообмен», «Ядерные энергетические реакторы», «Парогенераторы», «Насосы, вентиляторы, компрессоры АЭС», «Стандартные программы и средства для моделирования».

Знания, полученные по освоению дисциплины, необходимы при выполнении дипломной выпускной работы и для изучения дисциплин: «Ядерные энергетические реакторы», а также при прохождении производственных практик и государственной итоговой аттестации.

После изучения данной дисциплины студент сможет частично продемонстрировать следующие трудовые функции:

- «24.078.Специалист-исследователь в области ядерно-энергетических технологий» В/02.7. Обобщение результатов, проводимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью выработка предложений по разработке новых и усовершенствованию действующих ядерно-энергетических технологий;
- «24.081. Специалист (инженер) в области технического обслуживания и ремонта на атомной станции» В. 7. Разработка, организация и анализ процедур технического обслуживания и ремонта оборудования и трубопроводов технологических систем;
- «24.033. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики атомной станции» С/03.7. Организация и контроль выполнения ТОиР СИ, СА и аппаратуры СУЗ, контроль своевременности проведения профилактических осмотров и различных видов ремонта;
- «24.088. Специалист (инженер) по эксплуатации и руководству эксплуатацией блока (блоков) атомной электростанции» В/01.7. Обеспечение эксплуатации, проведения ремонтов, технического обслуживания, наладки и испытаний оборудования реакторного (реакторно-турбинного) цеха.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В процессе освоения данной дисциплины у студента формируются следующие компетенции: профессиональные

Задачи профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
Математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных	Ядерные, химические и тепловые процессы, протекающие в ядерных	ПК-3 Способен к проведению исследований физических процессов	З-ПК-3 знать методы проведения исследований физических процессов У-ПК-3 уметь проводить

пакетов автоматизированного проектирования и исследований; подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций.	энергетических установках и на атомных станциях.	в ядерных энергетических установках в процессе разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации	исследования и испытания оборудования ядерных энергетических установок В-ПК-3 владеть методиками испытаний оборудования при его монтаже и наладке
Разработка проектно- технологической документации по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии.	Ядерно- энергетическое, тепломеханическое, транспортно- технологическое и иное оборудование атомных станций.	ПК-11 Способен анализировать технологии монтажа, ремонта и демонтажа оборудования ЯЭУ применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АЭС	3-ПК-1 знать правила техники безопасности при проведении монтажа, ремонта и демонтажа оборудования ЯЭУ У-ПК-1 уметь проводить монтаж, ремонт и демонтаж оборудования ЯЭУ применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АЭС В-ПК-1 владеть навыками монтажных и демонтажных работ на технологическом оборудовании

Задачи воспитания, реализуемые в рамках освоения дисциплины

Направление/ цели	Создание условий, обеспечивающих	Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин	Вовлечение в раз- ноплановую внеучебную деятельность
Профессиональное воспитание	– выработка ответственного отношения к осуществляемой работе в области проектирования, создания и эксплуатации атомных станций (АС) и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты и управления (В31).	Использование для формирования культуры ядерной и радиационной безопасности, выработки ответственного отношения к осуществляемой работе в области проектирования, создания и эксплуатации атомных станций (АС) и других ядерных энергетических установок воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин: Математическое моделирование процессов в оборудовании АЭС; Управление ядерными энергетическими установками; Ядерные энергетические реакторы; Автоматизированное проек-	1. Организация и проведение экскурсий, научно-практических конференций, форумов, круглых столов, вебинаров по вопросам профессиональной деятельности 2. Участие в студенческих олимпиадах и конкурсах научных проектов, творческих мероприятиях, конкурсах профессионального мастерства, в том числе по стандартам WorldSkills.

		<p>тирование электронных элементов и систем; Системы управления; Исполнительные устройства систем управления; Надежность технических систем АЭС (типы, оборудование, технологии, эксплуатация); Транспортные устройства АЭС; Парогенераторы; АСУ технологическими процессами АЭС; Жизненный цикл и проектирование АСУ технологическими процессами; Турбомашины; Режимы работы и эксплуатации оборудования АЭС; Основы эксплуатации реакторного оборудования АЭС; Автоматизация ядерных энергетических установок; Современные системы управления ЯЭУ; Радиационная безопасность АЭС; Дозиметрия ионизирующих излучений; Производство ремонта и монтажа оборудования АЭС; Ремонтное обслуживание реакторного и тепломеханического оборудования АЭС</p>	<p>3. Участие в подготовке публикаций в периодических научных изданиях; 4. Участие в деятельности студенческого научного общества</p>
--	--	---	--

Структура и содержание учебной дисциплины

Дисциплина преподается студентам в А семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 ак. часа.

Календарный план

№ Р а з д е л а	№ Т е м ы	Наименование раздела (темы) дисциплины	Виды учебной деятельности (в часах)					Аттестация раздела (форма*)	Максимальный балл за раздел**
			Всего	Лекции	Лабораторные	Практические	СРС		
1	1	Введение. Общая характеристика турбоустановок ТЭС и	4	2	-	-	2	УО	

		АЭС							
	2	Тепловой цикл паротурбинной установки и показатели экономичности ТЭС. Особенности турбоустановок АЭС	12	2	-	6/4	2	Зд1	10
	3	«Роль промежуточного перегрева водяного пара в турбоустановках ТЭС. Регенеративный подогрев питательной воды. Комбинированная выработка теплоты и электроэнергии на ТЭЦ	4	2	-	-	2		
	4	Процесс расширения пара в турбинной ступени	4	2	-	-	2		
	5	Мощность и экономичность турбинных ступеней	10	2	-	4/4	2	Зд2	10
	6	Турбинные решетки и их выбор	10	2	-	6/4	2	Зд3	10
	7	Относительный внутренний КПД турбинной ступени.	4	2	-	-	2		
	8	Расчет турбинных ступеней	12	2	-	6/4	2	Зд4	10
	9	Особенности расчета и проектирования ступеней с длинными лопатками	4	2	-	-	2		
	10	Основы проектирования паровых турбин	4	2	-	-	2		
1	11	Основные расчеты при проектировании паровой турбины	4	2	-	-	2		
2	12	Обеспечение надежности основных элементов паровых турбин. Выбор конструкции роторов	4	2	-	-	2		
	13	Особенности переменных режимов работы паровой турбины	4	2	-	-	2		
	14	Особенности эксплуатации паровых турбин в условиях переменных режимов работы ТЭС	10	2	-	6/4	2	Зд5	5
	15	Системы парораспределения паровых турбин. Сопловое и дроссельное парораспределение	5	1	-	-	4		

16	Обводное парораспределение. Регулирование мощности способом скользящего начального давления	6	1	-	-	4		
17	Влияние начальных и конечных параметров водяного пара на мощность паровых турбин	5	1	-	-	4		
18	Паровые турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии	11	1	-	4/4	4	Здб	5
Вид промежуточной аттестации		108/24	32		32/24	44	Зачет	50

* - сокращенное наименование формы контроля

** - сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен. Сокращенное наименование форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
УО	Устный опрос
Зд	Задание
З	Зачет

Содержание лекционного курса

Темы лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Всего часов	Учебно- методическое обеспечение
1	2	3
Введение. Тема 1:Общая характеристика турбоустановок ТЭС и АЭС» 1.Классификация электрических станций 2.Обозначения паровых турбин 3.Основные этапы развития теплоэнергетики и турбостроения 4.Общее знакомство с паровой турбиной ТЭС	2	[1-7]
Тема 2: «Тепловой цикл паротурбинной установки и показатели экономичности ТЭС. Особенности турбоустановок АЭС» 1.Тепловой цикл паротурбинной установки ТЭС и показатель его термодинамической эффективности 2.Энергетические показатели тепловой электростанции и общий баланс теплоты и мощности для ее энергоблоков 3.Абсолютные и относительные показатели экономичности турбин и турбоустановок 4.Расходы водяного пара, теплоты и топлива для паротурбинной установки 5.Влияние начальных и конечных параметров пара на экономичность 6. Особенности тепловых схем и турбоустановок АЭС	2	[1-7]

<p>Тема 3: «Роль промежуточного перегрева водяного пара в турбоустановках ТЭС. Регенеративный подогрев питательной воды. Комбинированная выработка теплоты и электроэнергии на ТЭЦ»</p> <p>1. Промежуточный перегрев водяного пара в паротурбинных установках.</p> <p>2. Регенеративный подогрев питательной воды в турбоустановках.</p> <p>3. Комбинированная выработка теплоты и электрической энергии на ТЭЦ</p> <p>4. Основные показатели паровой турбины Т-250/300-23,5 и ее модификаций</p>	2	[1-7]
<p>Тема 4: «Процесс расширения пара в турбинной ступени»</p> <p>1. Основные уравнения и формулы, используемые для расчета движения водяного пара в проточной части турбинных ступеней</p> <p>2. Конструкция турбинной ступени осевого типа и процессы преобразования энергии в ней</p> <p>4. Тепловая диаграмма процесса расширения в турбинной ступени</p> <p>4. Степень реактивности турбинной ступени</p> <p>5. Расчет треугольников скоростей</p>	2	[1-7]
<p>Тема 5: «Мощность и экономичность турбинных ступеней»</p> <p>1. Усилия в турбинной ступени и ее мощность</p> <p>2. Относительный лопаточный КПД ступени</p> <p>3. Двухвенечные ступени паровых турбин</p>	2	[1-7]
<p>Тема 6: «Турбинные решетки и их выбор»</p> <p>1. Геометрические характеристики турбинных решеток</p> <p>2. Газодинамические и режимные характеристики турбинных решеток</p> <p>3. Маркировка турбинных решеток и их формирование</p>	2	[1-7]
<p>Тема 7: «Относительный внутренний КПД турбинной ступени»</p> <p>1. Потери трения диска и лопаточного бандажа</p> <p>2. Потери при парциальном подводе водяного пара в турбинную ступень</p> <p>3. Потери от утечек в турбинной ступени. Лабиринтовые уплотнения</p> <p>4. Потери от влажности водяного пара</p>	2	[1-7]
<p>Тема 8: «Расчет турбинных ступеней»</p> <p>1. Выбор исходных данных и параметров при расчете турбинной ступени</p> <p>2. Методика расчета турбинной ступени с $\theta = d/l > 10 \dots 13$</p> <p>3. Особенности расчета турбинных ступеней</p>	2	[1-7]
<p>Тема 9: «Особенности расчета и проектирования ступеней с длинными лопатками»</p> <p>1. Уравнения радиального равновесия</p> <p>2. Законы профилирования турбинных лопаток</p> <p>3. Сравнение эффективности турбинных ступеней с разными законами закрутки их лопаточного аппарата</p>	2	[1-7]
<p>Тема 10: «Основы проектирования паровых турбин»</p> <p>1. Основные показатели паровых турбин и их компоновки</p> <p>2. Предельная мощность однопоточной конденсационной турбины</p> <p>3. Способы повышения мощности паровых турбин</p> <p>4. Определение размеров последней ступени турбины</p>	2	[1-7]

<p>Тема 11: «Основные расчеты при проектировании паровой турбины»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Построение процесса расширения водяного пара в проточной части турбины и оценки его расхода 2. Расчет числа ступеней и распределение теплоперепадов по ступеням турбины 3. Выбор частоты вращения вала турбоагрегата и числа его ЦНД 	2	[1-7]
<p>Тема 12: «Обеспечение надежности основных элементов паровых турбин. Выбор конструкции роторов»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Расчет осевых усилий и способы их компенсации 2. Статическая прочность рабочих лопаток турбинных ступеней 3. Конструкции роторов паровых турбин 4. Конструкции уплотнений паровых турбин 	2	[1-7]
<p>Тема 13: «Особенности переменных режимов работы паровой турбины»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Общая характеристика переменных режимов 2. Переменный режим работы турбинных решеток 3. Переменный режим турбинной ступени 4. Особенности переменного режима турбинной ступени с $\theta_2 = d_2/l_2 < 10$ 5. Распределение давлений и теплоперепадов по ступеням турбины при переменном режиме ее эксплуатации 	2	[1-7]
<p>Тема 14: «Особенности эксплуатации паровых турбин в условиях переменных режимов работы ТЭС»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Характеристика переменных режимов ТЭС 2. Режим разгрузки энергоблоков в пределах регулировочного диапазона 3. Холостой ход турбоагрегата 4. Моторный режим 5. Режим горячего вращающегося резерва 6. Реализация перегрузочных режимов в турбоустановках 	2	[1-7]
<p>Тема 15: «Системы парораспределения паровых турбин. Сопловое и дроссельное парораспределение»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Общая характеристика систем парораспределения 2. Дроссельное парораспределение 3. Сопловое парораспределение 	1	[1-7]
<p>Тема 16: «Обводное парораспределение. Регулирование мощности способом скользящего начального давления»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Обводное (байпасное) парораспределение 2. Выбор способа парораспределения паровых турбин 3. Регулирование мощности энергоблоков способом скользящего давления 4. Особенности перевода энергоблока на скользящее начальное давление 	1	[1-7]
<p>Тема 17: «Влияние начальных и конечных параметров водяного пара на мощность паровых турбин»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Влияние начального давления на мощность турбин 2. Влияние начальной температуры пара и его температуры после промежуточного перегрева на мощность турбины 3. Влияние конечного давления пара на мощность турбины 	1	[1-7]

Тема 18: «Паровые турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии» 1. Турбины с противодавлением 2. Турбины с промежуточным регулируемым отбором пара 3. Турбины с двумя регулируемыми отборами 4. Турбины с двухступенчатым отопительным отбором пара 5. Основные параметры и характеристики теплофикационных турбин	1	[1-7]
--	---	-------

Перечень практических занятий

Тема практического занятия. Вопросы, отрабатываемые на практическом занятии	Всего часов	Учебно- методическое обеспечение
1	2	3
Тема 2 «Тепловые циклы и схемы турбинных установок»: 1. Расчет удельного расхода пара и теплоты 2. Расчет относительного внутреннего КПД турбины 3. Определение располагаемого теплоперепада турбины 4. Определение термического КПД паротурбинных циклов 5. Расчет оптимального давления промежуточного нагрева пара для идеального цикла 6. Расчет мощности турбины 7. Построение процесса расширения пара в h.s–диаграмме 8. Сравнительные расчеты влажности пара для энергоблока с реактором ВВЭР.	6	[1-7]
Тема 5 «Многоступенчатые турбины» 1. Расчет доли располагаемого теплоперепада проточной части приводной конденсационной турбины 2. Построение процесса расширения пара в турбине 3. Определение максимальной мощности проектируемой двухцилиндровой конденсационной турбины высокого давления с двухпоточным ЦНД 4. Расчет утечки пара через лабиринтовое уплотнение диафрагмы промежуточной ступени паровой турбины	4	[1-7]
Тема 6 «Решетки профилей»: 1. Расчет теоретической скорости выхода пара 2. Расчет критических параметров (давления и температуры) при изоэнтропном расширении пара 3. Расчет расхода пара через суживающуюся сопловую решетку 4. Расчет площади и высоты рабочей решетки и числа лопаток промежуточной ступени газовой турбины 5. Расчет давления за решеткой для уменьшения расхода пара вдвое	6	[1-7]
Тема 8 «Турбинная ступень. Переменный режим работы турбиной ступени» 1. Алгоритм расчета ступени и блок-схема программы 2. Расчет значения оптимального располагаемого теплоперепада ступени 3. Построение треугольника скоростей 4. Расчет высоты лопаток ступеней	6	[1-7]

5.Расчет относительного лопаточного КПД ступени 6.Расчет потерь на трение диска и потерь от парциального подвода пара в активной одновенечной регулирующей ступени паровой турбины		
Тема 14 «Переменный режим работы турбины» 1.Расчет давления пара перед первой ступенью конденсационной турбины 2. Расчет утечки пара через отсек уплотнения паровой турбины 3.Определение расхода пара через турбину при полностью открытом клапане. 4.Расчет количества пара через обводной клапан 5.Расчет изменения мощности турбины при изменении параметров пара	6	[1-7]
Тема 18 «Турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии» 1.Расчет расход свежего пара в турбине с регулируемым производственным отбором пара П-6-35/5 2.Расчет мощности турбины ПР-12/15-90/15/7 3.Расчет мощности турбины при снижении относительного электрического КПД 4.Расчет максимального пропуска свежего пара для турбины Т-25-30-90.	4	[1-7]

Задания для самостоятельной работы студентов

Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Всего часов	Учебно- методическое обеспечение
1	2	3
Конденсационные установки паровых турбин. Основы расчета и эксплуатации конденсаторов турбоустановок. Воздухоудаляющие устройства конденсаторов. Назначение систем автоматического регулирования и защиты паровых турбин. Системы маслоснабжения и конструкции подшипников. Вибрационная надежность турбоагрегатов. Обратная и низкочастотная вибрации роторов. Оценки надежности элементов валопровода турбоагрегата. Организация температурных расширений паровых турбин. Питательные насосы и их приводы для турбоустановок ТЭС. Энергетические газотурбинные установки	14	[1-7]
«Высокочастотная вибрация. Нормы и контроль вибрации турбоагрегатов	4	[1-7]
Вибрационная надежность лопаточного аппарата турбинных ступеней	4	[1-7]
Обеспечение вибрационной надежности лопаточного аппарата и дисков роторов	4	[1-7]
Тепловой расчет конденсационной паровой турбины	14	[1-7]
Особенности пуска паровых турбин	4	[1-7]

Образовательные технологии

Реализация освоения данной дисциплины обеспечивается доступом каждого обучающегося-

ся к базам данных и библиотечным фондам, формируемым по полному перечню дисциплин (модулей) основной образовательной программы. В БИТИ действуют компьютерные классы, в которых проводятся занятия по различным дисциплинам специальности, в том числе и классы, обеспеченные доступом к сети Интернет для самостоятельной подготовки студентов. На кафедре имеются компьютеры с возможностью работы в специальных программах и доступа к современным профессиональным базам данных, информационным справочным и поисковым системам, к таким как база данных периодических изданий.

Практическая подготовка при реализации учебной дисциплины организуется путем проведения практических занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка также включает в себя занятия лекционного типа, которые предусматривают передачу учебной информации обучающимся, необходимой для последующего выполнения работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Для аттестации обучающихся имеются базы оценочных средств по дисциплине в соответствии с утвержденными учебным планом и рабочей программой дисциплины, включающие средства поэтапного контроля формирования компетенций (текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация).

Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

№ п/п	Наименование контролируемых разделов (темы)	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Наименование оценочного средства
Входной контроль			
1	Входной контроль		Вопросы входного контроля (устно)
Аттестация разделов, текущий контроль успеваемости			
1	Общее устройство теплообменного оборудования	З-ПК-3, З-ПК-11	Задания
		У-ПК-3, З-ПК-11	
		В-ПК-3, З-ПК-11	
2	Особенности расчета типов основного оборудования	З-ПК-3, З-ПК-11	Задания
		У-ПК-3, З-ПК-11	
		В-ПК-3, З-ПК-11	
Промежуточная аттестация			
1	Зачет	ПК-3, ПК-11	Вопросы к зачету (устно)

Входной контроль предназначен для выявления пробелов в знаниях студентов и готовности их к получению новых знаний. Оценочные средства для входного контроля представляют собой вопросы, которые задаются студентам в устной форме.

Перечень вопросов входного контроля

1. Какое устройство называют турбиной.
2. Какая разница между валом и осью.

3. Что называют тепловым циклом.
4. Из каких процессов состоит цикл паровой турбины.
5. Что такое термический КПД тепловой машины.
6. Что называют водяным паром.
7. Какой пар называется влажным.
8. Какой пар называется сухим.
9. Что такое перегрев пара.
10. Какое устройство применяют для увеличения скорости пара свыше скорости звука.

Промежуточный контроль:

Оценочные средства для промежуточной аттестации разделов

Примеры типовых заданий практического характера (Зд)

Задание №1. «Тепловые циклы и схемы турбинных установок»

1. Расчет удельного расхода пара и теплоты
2. Расчет относительного внутреннего КПД турбины
3. Определение располагаемого теплоперепада турбины
4. Определение термического КПД паротурбинных циклов
5. Расчет оптимального давления промежуточного нагрева пара для идеального цикла
6. Расчет мощности турбины
7. Построение процесса расширения пара в $h.s$ – диаграмме
8. Сравнительные расчеты влажности пара для энергоблока с реактором ВВЭР.

Задание №2. «Многоступенчатые турбины»

1. Расчет доли располагаемого теплоперепада проточной части приводной конденсационной турбины
2. Построение процесса расширения пара в турбине
3. Определение максимальной мощности проектируемой двухцилиндровой конденсационной турбины высокого давления с двухпоточным ЦНД
4. Расчет утечки пара через лабиринтовое уплотнение диафрагмы промежуточной ступени паровой турбины

Задание №3. «Решетки профилей».

1. Расчет теоретической скорости выхода пара
2. Расчет критических параметров (давления и температуры) при изоэнтропном расширении пара
3. Расчет расхода пара через суживающуюся сопловую решетку
4. Расчет площади и высоты рабочей решетки и числа лопаток промежуточной ступени газовой турбины
5. Расчет давления за решеткой для уменьшения расхода пара вдвое

Задание №4. «Турбинная ступень. Переменный режим работы турбиной ступени».

1. Алгоритм расчета ступени и блок-схема программы
2. Расчет значения оптимального располагаемого теплоперепада ступени
3. Построение треугольника скоростей
4. Расчет высоты лопаток ступеней
5. Расчет относительного лопаточного КПД ступени

6. Расчет потерь на трение диска и потерь от парциального подвода пара в активной одновечной регулирующей ступени паровой турбины

Задание №5. «Турбинная ступень. Переменный режим работы турбиной ступени».

1. Расчет давления пара перед первой ступенью конденсационной турбины
2. Расчет утечки пара через отсек уплотнения паровой турбины
3. Определение расхода пара через турбину при полностью открытом клапане.
4. Расчет количества пара через обводной клапан
5. Расчет изменения мощности турбины при изменении параметров пара

Задание №6. «Турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии»

1. Расчет расход свежего пара в турбине с регулируемым производственным отбором пара П-6-35/5
2. Расчет мощности турбины ПР-12/15-90/15/7
3. Расчет мощности турбины при снижении относительного электрического КПД
4. Расчет максимального пропуска свежего пара для турбины Т-25-30-90.

Критерии оценки заданий:

1. Полнота знаний теоретического контролируемого материала.
2. Количество правильных ответов.

Промежуточная аттестация осуществляется в форме зачета.

Перечень вопросов для подготовки к зачету:

1. Классификация электрических станций
2. Обозначения паровых турбин
3. Основные этапы развития теплоэнергетики и турбостроения
4. Основные элементы паровой турбиной ТЭС
5. Тепловой цикл паротурбинной установки ТЭС и показатель его термодинамической эффективности
6. Энергетические показатели тепловой электростанции и общий баланс теплоты и мощности для ее энергоблоков
7. Абсолютные и относительные показатели экономичности турбин и турбоустановок
8. Расходы водяного пара, теплоты и топлива для паротурбинной установки
9. Влияние начальных и конечных параметров пара на экономичность
10. Особенности тепловых схем и турбоустановок АЭС
11. Тепловой цикл паротурбинной установки ТЭС и показатель его термодинамической эффективности
12. Энергетические показатели тепловой электростанции и общий баланс теплоты и мощности для ее энергоблоков
13. Абсолютные и относительные показатели экономичности турбин и турбоустановок
14. Расходы водяного пара, теплоты и топлива для паротурбинной установки
15. Влияние начальных и конечных параметров пара на экономичность
16. Особенности тепловых схем и турбоустановок АЭС
17. Основные уравнения и формулы, используемые для расчета движения водяного пара в проточной части турбинных ступеней

18. Конструкция турбинной ступени осевого типа и процессы преобразования энергии в ней

19. Тепловая диаграмма процесса расширения в турбинной ступени

20. Расчет треугольников скоростей

21. Усилия в турбинной ступени и ее мощность

22. Относительный лопаточный КПД ступени

23. Двухвенечные ступени паровых турбин

24. Геометрические характеристики турбинных решеток

25. Газодинамические и режимные характеристики турбинных решеток

26. Маркировка турбинных решеток и их формирование

27. Потери трения диска и лопаточного бандажа

28. Потери при парциальном подводе водяного пара в турбинную ступень

29. Потери от утечек в турбинной ступени. Лабиринтовые уплотнения

30. Потери от влажности водяного пара

31. Выбор исходных данных и параметров при расчете турбинной ступени

32. Методика расчета турбинной ступени с $\theta = d/l > 10 \dots 13$

33. Особенности расчета турбинных ступеней

34. Уравнения радиального равновесия

35. Законы профилирования турбинных лопаток

36. Сравнение эффективности турбинных ступеней с разными законами закрутки их лопаточного аппарата

37. Основные показатели паровых турбин и их компоновки

38. Предельная мощность однопоточной конденсационной турбины

39. Способы повышения мощности паровых турбин

40. Определение размеров последней ступени турбины

41. Построение процесса расширения водяного пара в проточной части турбины и оценки его расхода

42. Расчет числа ступеней и распределение теплоперепадов по ступеням турбины

43. Выбор частоты вращения валопровода турбоагрегата и числа его ЦНД

44. Расчет осевых усилий и способы их компенсации

45. Статическая прочность рабочих лопаток турбинных ступеней

46. Конструкции роторов паровых турбин

47. Конструкции уплотнений паровых турбин

48. Общая характеристика переменных режимов

49. Переменный режим работы турбинных решеток

50. Переменный режим турбинной ступени

51. Особенности переменного режима турбинной ступени с $\theta_2 = d_2/l_2 < 10$

52. Распределение давлений и теплоперепадов по ступеням турбины при переменном режиме ее эксплуатации

53. Характеристика переменных режимов ТЭС

54. Режим разгрузки энергоблоков в пределах регулировочного диапазона

55. Холостой ход турбоагрегата

56. Моторный режим

57. Режим горячего вращающегося резерва

58. Реализация перегрузочных режимов в турбоустановках

- 59.Общая характеристика систем парораспределения
- 60.Дроссельное парораспределение
- 61.Сопловое парораспределение
- 62.Обводное (байпасное) парораспределение
- 63.Выбор способа парораспределения паровых турбин
- 64.Регулирование мощности энергоблоков способом скользящего давления
- 65.Особенности перевода энергоблока на скользящее начальное давление
- 66.Влияние начального давления на мощность турбин
- 67.Влияние начальной температуры пара и его температуры после промежуточного перегрева на мощность турбины
- 68.Влияние конечного давления пара на мощность турбины
69. Турбины с противодавлением
70. Турбины с промежуточным регулируемым отбором пара
71. Турбины с двумя регулируемыми отборами
- 72.Турбины с двухступенчатым отопительным отбором пара
73. Основные параметры и характеристики теплофикационных турбин

Шкалы оценки образовательных достижений

Баллы (итоговой рейтинговой оценки)	Оценка (балл за ответ на зачете)	Требования к знаниям
100-65	<i>«зачтено» 30 - 50 баллов</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Оценка «зачтено» если он имеет знания основного материала, если он прочно усвоил программный материал, последовательно, четко и логически стройно его излагает его на зачете, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения, умеет тесно увязывать теорию с практикой – Учебные достижения в семестровый период и результатами рубежного контроля демонстрируют достаточную степень овладения программным материалом.
64-0	<i>«не зачтено» 0 - 29 баллов</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «не зачтено» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. – Учебные достижения в семестровый период и результатами рубежного контроля демонстрировали не высокую степень овладения программным материалом по минимальной планке.

Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

Основная литература

- 1.Основная литература:Обуховский, А. Д. Теория лопаточных машин : учебное пособие / А. Д. Обуховский, Ю. В. Телкова. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 120 с.
<https://e.lanbook.com/reader/book/152216/#8>
- 2.Шапошников, В. В. Турбины тепловых и атомных электрических станций : учебное пособие / В. В. Шапошников. — Краснодар : КубГТУ, 2019. — 191 с.
<https://e.lanbook.com/reader/book/151182/#3>
- 3.Широбокова, О. Е. Общая энергетика : учебно-методическое пособие / О. Е. Широбокова, Д. В. Кирдищев. — Брянск : Брянский ГАУ, 2018. — 179 с.
<https://e.lanbook.com/reader/book/133094/#7>

4. Паровые и газовые турбины для электростанций [Электронный ресурс] : учеб. / Костюк А.Г. [и др.]. — Электрон.дан. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. — 557 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72260>.

5. Эжекторы конденсационных установок паровых турбин: учебное пособие [Электронный ресурс] / К.Э. Аронсон [и др.]. — Электрон.дан. — Екатеринбург : УрФУ, 2015. — 131 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/99023>.

Дополнительная литература:

6. Сахин, В. В. Устройство и действие энергетических установок : учебное пособие / В. В. Сахин. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, [б. г.]. — Книга 1 : Поршневые машины. Паровые турбины — 2015. — 172 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/75171/#3>

7. Булкин А.Е., Тихоходные паровые турбины атомных электрических станций: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб.пособие / Булкин А.Е., Трухний А.Д.. — Электрон. дан. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2011. — 364 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72308>.

Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Реализация освоения данной дисциплины обеспечивается доступом каждого обучающегося к базам данных и библиотечным фондам, формируемым по полному перечню дисциплин (модулей) основной образовательной программы. В БИТИ действует компьютерные классы, в которых проводятся занятия по различным дисциплинам специальности «АЭС», в том числе и классы обеспечены доступом к сети Интернет для самостоятельной подготовки студентов. На кафедре имеются компьютеры с возможностью работы в специальных программах и доступа к современным профессиональным базам данных, информационным справочным и поисковым системам, к таким как база данных периодических изданий.

Реализация компетентного подхода в процессе изучения дисциплины предполагает организацию интерактивных занятий. Интерактивные занятия проводятся в виде лабораторных занятий, во время которых обучающиеся в непосредственном контакте с преподавателем осваивают практические навыки проведения экспериментальных исследований.

Занятия проводятся в лаборатории «Теплотехника и термодинамика», предназначенной для проведения занятий лекционного типа, практических и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Для проведения практических работ в аудитории имеется комплект учебно-наглядных пособий и плакатов, необходимый комплект документации и методического обеспечения.

Учебно-методические рекомендации для студентов

1. Указания для прослушивания лекций

Перед началом занятий внимательно ознакомиться с учебным планом проведения лекций и списком рекомендованной литературы.

Перед посещением очередной лекции освежить в памяти основные концепции пройденного ранее материала. Подготовить при необходимости вопросы преподавателю. Не надо опасаться, что вопросы могут быть простыми.

На лекции основное внимание следует уделять не формулам и математическим выкладкам, а содержанию изучаемых вопросов, определениям и постановкам задач.

В процессе изучения лекционного курса необходимо по возможности часто возвращаться к основным понятиям и методам решения задач (здесь возможен выборочный контроль знаний студентов).

Желательно использовать конспекты лекций, в которых используется принятая преподавателем система обозначений.

Для более подробного изучения курса следует работать с рекомендованными литературными источниками и вновь появляющимися источниками.

2. Указания для участия в практических занятиях

Перед посещением уяснить тему практического занятия и самостоятельно изучить теоретические вопросы.

Получить у преподавателя задание на выполнение практического задания, как правило это решение задачи по пройденному лекционному материалу. Решение задачи оформить письменно или выполнить с использованием компьютера и при необходимости распечатать и сдать преподавателю на проверку.

Перед посещением уяснить тему практического занятия и самостоятельно изучить теоретические вопросы.

В конце практического занятия при необходимости выяснить у преподавателя неясные вопросы.

Основные результаты выполнения работы необходимо распечатать.

3. Указания для выполнения самостоятельной работы

Получить у преподавателя задание и список рекомендованной литературы. Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю.

Подготовить письменный отчет о проделанной работе.

При выполнении фронтальных заданий по усмотрению преподавателя работа может быть оценена без письменного отчета на основе ответов на контрольные вопросы, при условии активной самостоятельной работы.

Подготовить ответы на контрольные вопросы.

Методические рекомендации для преподавателей

1. Указания для проведения лекций

На первой вводной лекции сделать общий обзор содержания курса и отметить новые методы и подходы к решению задач, рассматриваемых в курсе, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

При подготовке к лекционным занятиям необходимо продумать план его проведения, содержание вступительной, основной и заключительной части лекции, ознакомиться с новинками учебной и методической литературы, публикациями периодической печати по теме лекционного занятия. Уточнить план проведения практического занятия по теме лекции. Перед изложением текущего лекционного материала напомнить об основных итогах, достигнутых на предыдущих лекциях. С этой целью задать несколько вопросов аудитории и осуществить выборочный контроль знания студентов.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия. Раскрывая содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов.

Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой

темы, особо выделяя, категориальный аппарат. В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного практического занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к практическому занятию. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить с докладами и рефератами.

На последней лекции уделить время для обзора наиболее важных положений, рассмотренных в курсе.

2. Указания для проведения практических занятий

Подготовить теоретические вопросы или задачи, которые должны выполнить студенты вовремя практического занятия. Подготовить список литературных источников, необходимых для выполнения задания и которые студенты могут получить в библиотеке института. Подготовить перечень интернет-ресурсов, которые помогут в выполнении практического задания. После получения отчетов выполнить проверку и на следующем практическом занятии разобрать допущенные ошибки и подсказать, как их необходимо устранить.

Четко обозначить тему занятия.

Обсудить основные понятия, связанные с темой.

В процессе решения задач вести дискуссию со студентами о правильности применения теоретических знаний.

Отмечать студентов, наиболее активно участвующих в решении задач и дискуссиях.

В конце практики задать аудитории несколько контрольных вопросов.

3. Указания по контролю самостоятельной работы студентов

По усмотрению преподавателя задание на самостоятельную работу может быть индивидуальным или фронтальным.

При использовании индивидуальных заданий требовать от студента письменный отчет о проделанной работе.



При применении фронтальных заданий вести коллективные обсуждения со студентами основных теоретических положений.

С целью контроля качества выполнения самостоятельной работы требовать индивидуальные отчеты (допустимо вместо письменного отчета применять индивидуальные контрольные вопросы).

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС НИЯУ МИФИ и учебным планом основной образовательной программы по специальности 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг.

Рабочую программу составил доцент

Рецензент: доцент

Устинов Н.А.

Костин Д.А.

Программа одобрена на заседании УМКС 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг от 04.07.2023 года, протокол № 6.

Председатель учебно-методической комиссии



Маггеррамов Р. А.