

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИШГЭ
(Матвеев А.С.)
«30» 06 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2019 г.

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная




Турбوماшины АЭС

Направление подготовки/ специальность	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг		
Специализация	Проектирование и эксплуатация атомных станций		
Уровень образования	высшее образование - специалитет		
Курс	3,4	семестр	6,7
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	9		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	48	
	Практические занятия	56	
	Лабораторные занятия	16	
	ВСЕГО	120	
Самостоятельная работа, ч			204
в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с выделенной промежуточной аттестацией (курсовой проект)			курсовой проект
ИТОГО, ч			324

Вид промежуточной
аттестации

Экзамен дифзачет, зачет	Обеспечивающее подразделение	НОЦ И.Н.Бутакова
--	---------------------------------	-----------------------------

Заведующий кафедрой –
руководитель
НОЦ И.Н. Бутакова на правах
кафедры
Руководитель ООП
Преподаватель

	Заворин А.С.
	Воробьев А.В.
	Шевелев С.А.

2020 г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5.4 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
ПК(У)-5	Способен в составе рабочей группы проектировать 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	И.ПК(У)-5.1	Использует знания по теоретическим основам функционирования, технологическим схемам, конструкциям и характеристикам оборудования основных типов АС при проектировании	ПК(У)- 51B1	Владеет опытом использования знаний по теоретическим основам функционирования, технологическим схемам, конструкциям и характеристикам оборудования основных типов АС при проектировании Турбомашины АЭС
				ПК(У)- 5.1У1	Умеет применять знания по теоретическим основам функционирования, технологическим схемам, конструкциям и характеристикам оборудования основных типов АС при проектировании Турбомашины АЭС
				ПК(У)- 5.131	Знает теоретические основы функционирования, технологические схемы, конструкции и характеристики оборудования основных типов АС Турбомашины АЭС
		И.ПК(У)-5.5	Проводит расчеты на прочность элементов конструкций, механизмов и машин	ПК(У)- 5.5B1	Владеет опытом использования методов расчета на прочность элементов конструкций, механизмов и машин Турбомашины АЭС
				ПК(У)- 5.51У1	Умеет проводить расчеты на прочность элементов конструкций, механизмов и машин; Турбомашины АЭС
				ПК(У)- 5.531	Знает методы расчета на прочность элементов конструкций, механизмов и машин Турбомашины АЭС
ПК(У)-9	Способен в составе рабочей группы проводить испытания основного и вспомогательного оборудования атомных станций и ядерных энергетических установок в процессе разработки, создания, монтажа, наладки и	И.ПК(У)-9.1	Выбирает методики проведения испытаний основного и вспомогательного оборудования АС	ПК(У)- 9.1B1	Владеет опытом выбора методик проведения испытаний основного и вспомогательного оборудования АС в процессах разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации Турбомашины АЭС
				ПК(У)- 9.1У1	Умеет выбирать необходимые методики проведения испытаний основного и вспомогательного оборудования АС в процессах разработки, создания, монтажа,

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
	эксплуатации, проводить физические эксперименты на этапах физического энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических параметров реакторной установки и АС в целом				наладки и эксплуатации Турбомашин АЭС
				ПК(У)- 9.131	Знает цели задачи проведения испытаний основного и вспомогательного оборудования АС в процессах разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации Турбомашин АЭС
		И.ПК(У)-9.2	Определяет и анализирует расчетные и экспериментальные характеристики основного и вспомогательного оборудования АС	ПК(У)- 9.2В1	Владеет опытом определения и анализа характеристик основного и вспомогательного оборудования АС Турбомашин АЭС
				ПК(У)- 9.2У1	Умеет определять и анализировать характеристики основного и вспомогательного оборудования АС
				ПК(У)- 9.231	Знает характеристики основного и вспомогательного оборудования АС в процессе разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации Турбомашин АЭС

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части Блока 1 учебного плана образовательной программы.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Индикатор достижения компетенции
Код	Наименование	
РД1	Знать термодинамические процессы, происходящие в оборудовании атомных электростанций, и уметь рассчитывать параметры этих процессов.	И.ПК(У)-5.1, И.ПК(У)-5.5
РД2	Использовать методы термодинамического анализа циклов для анализа и расчета эффективности термодинамических циклов.	И.ПК(У)-9.1
РД3	Владеть навыками проектирования тепловых схем атомных электростанций с учетом особенностей ядерной паропроизводящей установки.	И.ПК(У)-9.1, И.ПК(У)-9.2

4. Структура и содержание дисциплины (модуля)

Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел 1. Введение. Тепловые циклы турбинных установок	РД1	Лекции	4
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	24
Раздел 2. Ступени турбины	РД2	Лекции	20
		Практические занятия	28
		Лабораторные занятия	10
		Самостоятельная работа	24
Раздел 3. Циклы паротурбинных установок АЭС	РД2	Лекции	6
		Практические занятия	10
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	26
Раздел 4. Многоступенчатые турбины	РД2	Лекции	6
		Практические занятия	10
		Лабораторные занятия	2
		Самостоятельная работа	26
Раздел 5. Переменный режим турбины	РД1	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	26
Раздел 6. Регулирование, защита и маслоснабжение турбин	РД2	Лекции	4
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	26
Раздел 7. Конденсационные установки паровых турбин	РД2	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	26

Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Общие сведения о турбине и турбинной установке

Предмет и задачи курса. Современное состояние теплоэнергетики и перспективы ее развития. Роль паро- и газотурбинных установок в энергетике и других отраслях. История развития турбостроения. Принцип работы турбинного двигателя. Типовая конструкция паровой турбины, ее основные узлы.

Темы лекций:

1. Введение. Постановка задачи исследования дисциплины. История развития турбостроения. Основы устройства современных паровых турбин.
2. Схема и цикл простейшей паротурбинной установки. Мощности и КПД турбины и турбинной установки.

Раздел 2. Тепловой процесс турбинной ступени

Основные уравнения потока для сжимаемой жидкости: состояния, неразрывности, количества движения, сохранения энергии. Понятие плоскопараллельного и

пространственного течения. Параметры полного торможения. Конфузорное и диффузорное течение потока. Критические параметры потока. Суживающиеся и расширяющиеся каналы. Формы каналов турбинных решеток, отклонение потока в косом срезе. Потери профильные, концевые, волновые, от нестационарности потока. Коэффициент потери энергии в решетке, коэффициент расхода. Степень реактивности ступени. Треугольники скоростей. Усилие на рабочих лопатках ступени. Относительный КПД на лопатках ступени и факторы, его определяющие.

Темы лекций:

3. Течение газа в каналах турбинных ступеней. Основные уравнения движения сжимаемой жидкости.
4. Характеристики потока при изоэнтальпийном расширении газа в каналах. Отношение давлений на канал. Критические параметры потока,
5. Реальное течение газа в каналах.
6. Геометрические и газодинамические характеристики турбинных решеток.
7. Потери профильные, концевые, волновые. Обобщенные газодинамические характеристики решеток. Расширение потока в косом срезе турбинных решеток.
8. Степень реактивности ступени. Треугольники скоростей ступени. Усилие, действующее на рабочие лопатки.
9. Относительный лопаточный КПД ступени. Безразмерное отношение скоростей как критерий экономичности ступени и его оптимальное значение. Оптимальный располагаемый теплоперепад ступени.
10. Ступени скорости. Определение геометрических размеров турбинных ступеней.
11. Ступени с длинными лопатками. Упрощенное уравнение радиального равновесия. Методы профилирования лопаток турбинной ступени.
12. Относительный внутренний КПД ступени. Дополнительные потери в ступени.

Темы практических занятий:

1. Расчет теоретического процесса расширения в суживающихся соплах.
2. Расчет теоретического процесса расширения в расширяющихся соплах.
3. Расчет действительного процесса расширения в суживающихся соплах.
4. Расчет действительного процесса расширения в расширяющихся соплах.
5. Геометрические характеристики турбинных решеток с цилиндрическим бандажом.
6. Геометрические характеристики турбинных решеток с коническим бандажом.
7. Тепловой расчет турбинной ступени.
8. Расчет оптимального безразмерного отношения скоростей турбинной ступени.
9. Определение геометрических размеров ступени. Часть 1.
10. Определение геометрических размеров ступени. Часть 2
11. Профилирование лопаток турбинных ступеней. Часть 1.
12. Профилирование лопаток турбинных ступеней. Часть 2.
13. Изучение конструкций паровых турбин: роторы.
14. Изучение конструкций паровых турбин: диски.

Названия лабораторных работ:

1. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 1: лопатки.
2. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 2: диафрагмы.
3. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 3: обоймы.
4. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 4: уплотнения.
5. Исследование характеристик турбинной ступени.

Раздел 3. Многоступенчатые паровые турбины

Схема устройства активной и реактивной турбины. Основные преимущества

многоступенчатых турбин. Использование потери с выходной скоростью в ступенях. Коэффициент возврата тепла. Понятие регулируемых и не регулируемых ступеней. Основы выбора конструкции турбин. Деление ступеней конденсационных турбин на группы. Предельная и единичная максимальная мощность турбины. Способы увеличения предельной мощности. Концевые уплотнения турбин. Схема отвода и подвода пара в уплотнении. Типы концевых уплотнений. Расчетная мощность турбины. Выбор теплоперепада и типа регулирующей ступени. Предварительная оценка размеров первой и последней нерегулируемых ступеней.

Темы лекций:

13. Преимущества и недостатки многоступенчатых турбин. Коэффициент возврата теплоты. Осевые усилия, действующие на ротор турбины и методы их уравнивания. Концевые уплотнения паровых турбин.
14. Основы конструирования проточной части многоступенчатых турбин. Определение числа ступеней и распределение теплоперепадов по ступеням турбины.
15. Предельная мощность турбины. Способы получения мощности турбины выше предельной.

Темы практических занятий:

15. Предельная мощность однопоточной турбины.
16. Определение структурной схемы турбины.
17. Определение диаметра первой ступени цилиндра паровой турбины
18. Определение диаметра последней ступени цилиндра паровой турбины
19. Определение числа ступеней цилиндра паровой турбины.

Названия лабораторных работ:

6. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 5: уплотнения.
7. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 11: корпуса.

Раздел 4. Работа турбин при переменных режимах

Понятие переменного (нерасчетного) режима. Переменный режим суживающихся и расширяющихся решеток. Сетка относительных расходов. Предельное отношение давлений для расширяющейся решетки. Изменение степени реакции и расхода пара через ступень. Распределение давлений и теплоперепадов в ступенях турбины при изменении режима работы. Влияние отклонения начального давления пара при разных системах парораспределения. Изменение экономичности и надежности. КПД ступени при изменении режима ее работы. Детальный расчет переменного режима работы ступени. Приближенные методы расчета.

Темы лекций:

16. Работа турбины при переменном режиме. Детальный расчет проточной части турбины на переменный режим. Детальный расчет проточной части турбины на переменный режим.
17. Распределение давлений и теплоперепадов по ступеням турбины при переменном расходе пара. Изменение КПД в переменном режиме.
18. Тепловой процесс турбины при переменном пропуске пара и различных системах парораспределения: дроссельной, сопловой, обводной.

Темы практических занятий:

20. Расчет переменного режима турбинной ступени.
21. Расчет переменного режима группы ступеней.
22. Расчет переменного режима работы турбины с дроссельной системой

- парораспределения.
23. Расчет переменного режима работы турбины с сопловой системой парораспределения.
24. Изучение конструкций паровых турбин: муфты.

Названия лабораторных работ:

8. Исследование сопловой системы парораспределения паровой турбины.

Раздел 5. Турбины для комбинированного производства энергии

Турбины с противодавлением и условия их применения. Связь между противодавлением и нагрузкой турбины. Особенности конструктивного оформления. Турбины с промежуточными регулируемым отборами пара. Процессы расширения пара в h -диаграмме. Диаграммы режимов. Конструктивное оформление турбин. Поворотные диаграммы. Турбины с двухступенчатым отопительным отбором пара. Диаграмма режимов. Конструкции теплофикационных турбин.

Темы лекций:

19. Противодавленческие турбины.
20. Турбины с одним регулируемым отбором, турбины с двумя регулируемым отборами.

Темы практических занятий:

25. Особенности расчета проточной части противодавленческих турбин.
26. Особенности расчета проточной части турбин с регулируемым отборами пара.

Раздел 6. Основы регулирования паровых турбин

Задачи регулирования турбин. Уравнение моментов турбогенератора. Условие постоянства частоты вращения. Статистическая характеристика системы регулирования. Диаграмма Щегляева. Степень неравномерности и нечувствительности. Рациональная форма статической характеристики. Работа регулирования при параллельном включении генераторов. Основы статического проектирования регулирования. Переходные процессы регулирования турбин. Особенности регулирования теплофикационных турбин. Поворотные диаграммы. Задачи и виды защит паровых турбин. Защита от повышения скорости вращения. Реле осевого сдвига. Предохранительные и обратные клапаны. Стопорные и отсеченные клапаны.

Темы лекций:

21. Саморегулирование турбогенератора. Статическая характеристика системы регулирования. Диаграмма Щегляева. Схема регулирования с однократным усилением.
22. Нечувствительность системы регулирования. Механизм управления турбиной. Параллельная работа турбогенераторов в энергосистеме. Регулирование турбин с регулируемым отбором пара. Системы защиты турбины.

Раздел 7. Конденсационные устройства паровых турбин

Назначение конденсационных устройств. Схема конденсационной установки и ее элементы. Типы конденсаторов. Конструкция поверхностного конденсатора. Воздухоотсасывающие устройства. Температура конденсата и его переохлаждение. Характеристика пароструйного эжектора. Общий порядок теплового расчета конденсатора. Тепловой баланс конденсатора. Выбор кратности охлаждения и скорости движения воды в трубках. Расчет поверхности охлаждения, числа ходов воды, числа трубок и их длины, размеров трубной доски.

Темы лекций:

23. Состав и назначение элементов конденсационной установки паровой турбины. Факторы, определяющие давление в конденсаторе.
24. Переохлаждение конденсата. Эжектор, многоступенчатый эжектор. Паровые и водоструйные эжекторы.

Темы практических занятий:

27. Расчет водяного конденсатора паровой турбины. Часть 1.
28. Расчет водяного конденсатора паровой турбины. Часть 2.

Темы курсовых проектов:

1. Проект многоступенчатой паровой турбины К-1000-5,8
2. Проект многоступенчатой паровой турбины К-800-6,46
3. Проект многоступенчатой паровой турбины К-750-6,37
4. Проект многоступенчатой паровой турбины К-235-4,31
5. Проект многоступенчатой паровой турбины К-1000-5,88
6. Проект многоступенчатой паровой турбины К-1000-5,85
7. Проект многоступенчатой паровой турбины К-1000-5,85
8. Проект многоступенчатой паровой турбины К-1000-5,85
9. Проект многоступенчатой паровой турбины К-1000-5,90
10. Проект многоступенчатой паровой турбины К-1000-5,85
11. Проект многоступенчатой паровой турбины К-750-6,40
12. Проект многоступенчатой паровой турбины К-500-6,44
13. Проект многоступенчатой паровой турбины К-235-4,31
14. Проект многоступенчатой паровой турбины К-1000-5,85
15. Проект многоступенчатой паровой турбины К-900-5,95
16. Проект многоступенчатой паровой турбины К-1200-6,0

5. Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ, лабораторных работ;
- Подготовка к практическим занятиям;
- Подготовка к контрольной работе и к экзамену;
- Опережающая самостоятельная работа;
- Выполнение курсового проекта.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1 Учебно-методическое обеспечение

Основная литература:

1. Трухний А.Д., Тихоходные паровые турбины атомных электрических станций : учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний, А.Е. Булкин. - М. : Издательский дом МЭИ, 2011. - 364 с. - ISBN 978-5-383-00524-8. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005248.html> (дата обращения: 04.12.2020). - Режим доступа : по подписке.

2. Костюк, А. Г. Паровые турбины и газотурбинные установки для электростанций : учебник для вузов / А. Г. Костюк, А. Е. Булкин, А. Д. Трухний - Москва : Издательский дом МЭИ, 2019. - ISBN 978-5-383-01400-4. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014004.html> (дата обращения: 20.01.2021). - Режим доступа : по подписке.

Дополнительная литература:

1. Трухний, А. Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки : учебное пособие для вузов / А. Д. Трухний, Б. В. Ломакин. - 2-е изд. , стереот. - Москва : МЭИ, 2020. - ISBN 978-5-383-01416-5. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014165.html> (дата обращения: 20.01.2021). - Режим доступа : по подписке.

6.2. Информационное и программное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. сайт WebPowerpedia (бесплатной энциклопедии энергетики) – www.thermal.ru
2. расчетный сервер МЭИ (ТУ) – www.vpu.ru/mas
3. официальный сайт Московского энергетического института – www.mpei.ru

Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы доступны по ссылке: <https://www.lib.tpu.ru/html/irs-and-pdb>

Используемое лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

1. Определение числа ступеней ЦВД и ЦСД.
2. Определение числа ступеней ЦНД.
3. Исследование характеристик турбинной ступени.
4. Построение энергетических характеристик конденсационных турбоустановок АЭС.
5. Расчет ступени на переменный режим.
6. Программа – тренажер по турбине К-200-130.
7. Компас 3D V12;
8. Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic; Microsoft Office 2013 Standard Russian Academic;
9. Document Foundation LibreOffice;
10. Cisco Webex Meetings\$
11. Zoom Zoom.

7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

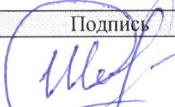
В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а,301	– Доска аудиторная поворотная - 1 шт.; – Комплект учебной мебели на 52 посадочных мест; – Компьютер - 1 шт.; – Проектор - 1 шт.
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования,	– Комплект учебной мебели на 38 посадочных мест;

консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а., 308	<ul style="list-style-type: none"> – Шкаф для одежды - 1 шт. – ;Шкаф для документов - 5 шт.; – Тумба стационарная - 1 шт.; – Стол письменный - 2 шт.; – Компьютер - 1 шт.
---	--

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг специализация «Проектирование и эксплуатация атомных станций» (приема 2019 г., очная форма обучения).

Разработчик:

Должность	Подпись	ФИО
Ст. преподаватель НОЦ И.Н.Бутакова		С.А. Шевелев

Программа одобрена на заседании НОЦ И.Н. Бутакова (протокол от 30.05.2019 г. № 29).

Заведующий кафедрой – руководитель
НОЦ И.Н. Бутакова на правах кафедры,
д.т.н, профессор

 /А.С. Заворин/
подпись

Лист изменений рабочей программы дисциплины:

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании НОЦ И.Н. Бутакова (протокол)
2020/2021 учебный год	Изменена форма документов основных образовательных программ, в том числе УМК дисциплин	Приказ по ТПУ №127-7/об от 06.05.2020 г.
2020/2021 учебный год	Внесены изменения в разделы учебно-методическое, информационное, программное обеспечение дисциплины и материально-техническое обеспечение дисциплины	№ 44 от 26.06.2020 г.