

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИИЭ

Матвеев А.С.
«30» 06 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2016 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

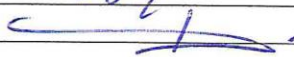
Парогенераторы и теплообменники

Направление подготовки/ специальность	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Nuclear power plants: design, operation and engineering / Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг		
Специализация	Design and operation of nuclear power plants / Проектирование и эксплуатация атомных станций		
Уровень образования	высшее образование - специалитет		
Курс	4	семестр	7, 8
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	9		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	48	
	Практические занятия	16	
	Лабораторные занятия	32	
	ВСЕГО	96	
Самостоятельная работа, ч		228	
ИТОГО, ч		324	

Вид промежуточной аттестации

экзамен 7, зачет, дифзачет 8	Обеспечивающее подразделение	НОЦ И.Н. Бутакова
---	---------------------------------	------------------------------

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

	Заворин А.С.
	Лавриненко С.В.
	Гвоздяков Д.В.

2020 г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 6. Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Результаты освоения ООП	Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенций)	
			Код	Наименование
ПК(У)-6	владением основами расчета на прочность элементов конструкций, механизмов и машин, подходами к обоснованному выбору способа обработки и соединения элементов энергетического оборудования ();	Р14	ПК(У)- 6.B1	Владеет опытом использования методов расчета на прочность элементов конструкций, механизмов и машин
			ПК(У)- 6.Y1	Умеет проводить расчеты на прочность элементов конструкций, механизмов и машин
			ПК(У)- 6.31	Знает методы расчета на прочность элементов конструкций, механизмов и машин
ПК(У)-27	способностью организовывать экспертизу технической документации, готовностью к исследованию причин неисправностей оборудования, принятию мер по их устранению	Р13	ПК(У)- 27.B1	Владеет опытом анализа технической документации, характеристик основного и вспомогательного оборудования АС, причин нарушений в его работе и способов их устранения
			ПК(У)- 27.Y1	Умеет определять и анализировать характеристики основного и вспомогательного оборудования, нарушения в его работе и способы их устранения
			ПК(У)- 27.31	Знает характеристики основного и вспомогательного оборудования АС, возможные неисправности оборудования, их причины и способы устранения
ПСК(У)-1.5	готовностью к разработке проектов элементов и систем АС и ЯЭУ с целью их модернизации и улучшения технико-экономических показателей с использованием современных средств проектирования и новых информационных технологий	Р14	ПСК(У)-1.5.B1	Владеет опытом использования знаний по теоретическим основам функционирования, технологическим схемам, конструкциям и характеристикам оборудования основных типов АС при проектировании
			ПСК(У)-1.5.Y1	Умеет применять знания по теоретическим основам функционирования, технологическим схемам, конструкциям и характеристикам оборудования основных типов АС при проектировании
			ПСК(У)-1.5.31	Знает теоретические основы функционирования, технологические схемы, конструкции и характеристики оборудования основных типов АС

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

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

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Компетенция
Код	Наименование	
РД1	Применять знания основных теплогидравлических и конструктивных характеристик парогенераторов АЭС (ПГ АЭС) для анализа и расчета протекающих в них процессов.	ПК(У)-6
РД2	Уметь составлять теплотехнические схемы и математические модели процессов в парогенераторах АЭС различного типа.	ПСК(У)-1.5
РД3	Уметь работать с технической документацией и литературой, справочниками и другими информационными источниками по тематике, связанной с	ПК(У)-27

	проектированием и эксплуатацией ПГ АЭС.	
РД4	Владеть современными методами и средствами проектирования для выполнения конструкторских и поверочных теплогидравлических и механических расчетов ПГ атомных электростанций.	ПСК(У)-1.5

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

4. Структура и содержание дисциплины

Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Введение. Предмет и задачи курса	РД-1	Лекции	2
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	12
Раздел 1. Парогенераторы и теплообменники АЭС	РД-1	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	18
Раздел 2. Теплоносители и рабочие тела ПГ атомных электростанций	РД-1	Лекции	4
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	18
Раздел 3. Конструктивные и теплотехнические схемы парогенераторов	РД-1	Лекции	4
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	18
Раздел 4. Тепло-гидравлические процессы парогенераторов и теплообменников АЭС	РД-1	Лекции	2
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	18
Раздел 5. Гидродинамические процессы в парогенераторах и теплообменниках АЭС	РД-2	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	18
Раздел 6. Температурный режим теплопередающих поверхностей парогенераторов и теплообменников АЭС	РД-2	Лекции	4
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	18
Раздел 7. Естественная циркуляция	РД-2	Лекции	4
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	18
Раздел 8. Гидравлическая и тепловая неравномерности	РД-3	Лекции	4
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	18
Раздел 9. Сепарация пара	РД-3	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	18
Раздел 10. Водно-химический режим	РД-3	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	18

Раздел 11. Основы проектирования парогенераторов и теплообменников АЭС	РД-4	Лекции	4
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	18
Раздел 12. Эксплуатация, надежность, безопасность	РД-4	Лекции	4
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	18

Содержание разделов дисциплины:

Введение. Предмет и задачи курса

Предмет и задачи курса. Структура курса. Рекомендуемая литература. Проблемы развития мировой атомной энергетики. Существующее состояние и перспективы развития атомных электростанций в России.

Тема лекции:

1. Введение.

Тема практического занятия:

1. Составление теплового баланса парогенератора.

Раздел 1. Парогенераторы и теплообменники АЭС

Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Схемы производства пара на АЭС. Общие понятия о парогенераторной установке. Требования к ПГ. Общие характеристики ПГ. Классификация парогенераторов.

Темы лекций:

2. Парогенераторы и теплообменники АЭС.
3. Типы парогенераторов АЭС.

Тема практического занятия:

2. Построение тепловых диаграмм (t-Q) парогенераторов АЭС.

Название лабораторной работы:

1. Тепловой баланс и t-Q диаграмма парогенератора АЭС.
2. Конструкции парогенераторов АЭС.
3. Конструкции теплообменников АЭС.

Раздел 2. Теплоносители и рабочие тела ПГ атомных электростанций

Сравнительные характеристики, достоинства и недостатки основных видов теплоносителей и рабочих тел (воды, жидких металлов, газов). Перспективные виды теплоносителей (свинец).

Тема лекции:

4. Теплоносители и рабочие тела АЭС.
5. Перспективные виды теплоносителей (свинец).

Раздел 3. Конструктивные и теплотехнические схемы парогенераторов

Парогенераторы, обогреваемые водой под давлением. Парогенераторы, обогреваемые жидкометаллическими теплоносителями (ЖМТ). Парогенераторы, обогреваемые газовыми теплоносителями. Сравнительные достоинства и недостатки ПГ АЭС.

Тема лекции:

6. Схемы генерации пара на АЭС.
7. Сравнительные достоинства и недостатки ПГ АЭС

Названия лабораторных работ:

4. Изучение конструкции парогенератора типа ПГВ.
5. Изучение конструкции модуля испарителя парогенератора установки БН-800.
6. Изучение конструкции парогенератора, обогреваемого газовым теплоносителем

Раздел 4. Тепло-гидравлические процессы парогенераторов и теплообменников АЭС
--

Общая характеристика тепло-гидравлических процессов, протекающих в парогенераторах. Процессы теплообмена и гидродинамики, физико-химические процессы. Влияние этих процессов на надежность и экономичность работы основных агрегатов АЭС.

Темы лекций:

8. Теплообмен в парогенераторах и теплообменниках АЭС. Общие вопросы.

Тема практического занятия:

3. Исследование теплообмена со стороны кипящего рабочего тела.

Название лабораторной работы:

7. Исследование теплоотдачи в парогенераторах со стороны рабочего тела.
8. Влияние процессов теплообмена и гидродинамики на надежность и экономичность работы основных агрегатов АЭС.
9. Исследование физико-химических процессов, протекающих в парогенераторах

Раздел 5. Гидродинамические процессы в парогенераторах и теплообменниках АЭС

Основные закономерности гидродинамики и методы расчёта гидравлического сопротивления при движении однофазного потока. Особенности. Гидродинамика двухфазных потоков: режимы течения, расходные и истинные характеристики двухфазной среды. Методы расчёта гидравлического сопротивления при движении двухфазной среды.

Темы лекций:

9. Гидродинамические процессы в ПГ. Потери давления при движении однофазного теплоносителя.
10. Потери давления при движении двухфазных потоков.

Тема практического занятия:

4. Потери давления в парогенерирующем канале.

Название лабораторной работы:

10. Исследование гидравлического сопротивления поверхностного теплообменника.
11. Гидродинамика двухфазных потоков
12. Методы расчёта гидравлического сопротивления при движении двухфазной среды.

Раздел 6. Температурный режим тепlopередающих поверхностей парогенераторов и теплообменников АЭС

Теплообмен при движении. Особенности теплообмена в поверхностях нагрева парогенераторов с жидкометаллическими теплоносителями (натрий, калий, свинец).

Теплообмен при движении кипящей воды. Кризис теплообмена при кипении. Типы кризисов (1-го и 2-го рода) и методы оценки условий их возникновения.

Темы лекций:

11. Теплообмен для однофазных теплоносителей в парогенераторах и теплообменниках АЭС.
12. Теплообмен при кипении в парогенераторах и теплообменниках АЭС.

Раздел 7. Естественная циркуляция
--

Безнапорное движение: понятие и закономерности барботажного процесса. Парораспределительные дырчатые листы: конструкция, характеристики, условия работы. Понятие контура естественной циркуляции (КЕЦ). Движущий напор по контуру естественной циркуляции и факторы его определяющие. Последовательность расчёта КЕЦ. Критерии надёжности естественной циркуляции. Основные нарушения в работе контура естественной циркуляции.

Тема лекции:

13. Барботаж.
14. Основные нарушения в работе контура естественной циркуляции.

Раздел 8. Гидравлическая и тепловая неравномерности
--

Гидравлическая и тепловая неравномерность параллельно включенных труб. Понятие о тепловой разверке. Гидродинамические характеристики (ГДХ) труб при принудительной циркуляции. Неоднозначность ГДХ. Стабильность и неустойчивость парогенерирующей трубы. Факторы, влияющие на устойчивость гидродинамической характеристики. Условия и мероприятия, обеспечивающие устойчивую работу парогенерирующей трубы. Пульсационные режимы работы парогенерирующих труб. Механизм пульсационных колебаний и факторы, влияющие на их интенсивность. Способы снижения пульсационной неустойчивости.

Тема лекции:

15. Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей нагрева.
16. Механизм пульсационных колебаний и факторы, влияющие на их интенсивность.

Название лабораторной работы:

13. Исследование устойчивости парогенерирующего канала
14. Гидродинамические характеристики (ГДХ) труб при принудительной циркуляции

Раздел 9. Сепарация пара

Требования, предъявляемые к качеству пара в ядерных энергетических установках. Причины загрязнения пара: переход примесей из воды в пар, механический унос примесей и унос за счёт растворимости веществ в паре. Методы получения чистого пара. Факторы, влияющие на влажность пара. Сепарация пара: в свободном объёме, во внутрибарабанных сепарационных устройствах. Особенности конструкции и расчёт жалюзийных и центробежных сепараторов.

Тема лекции:

17. Сепарация пара в парогенераторах АЭС.
18. Требования, предъявляемые к качеству пара в ядерных энергетических установках.

Тема практического занятия:

5. Сепарация в ПГ насыщенного пара с погруженной поверхностью теплообмена.

6. Особенности конструкции и расчёт жалюзийных и центробежных сепараторов.

Раздел 10. Водно-химический режим

Коррозия и водный режим парогенераторов АЭС. Требования, предъявляемые к парогенераторной и питательной воде. Состав парогенераторной воды: отложения примесей воды, летучие и нелетучие соединения. Факторы, влияющие на скорость коррозионных процессов: состояние поверхности, состав воды, температура и скорость движения среды. Водный режим парогенераторов с естественной и многократной принудительной циркуляцией. Особенности водного режима прямоточных ПГ.

Тема лекции:

19. Водно-химический режим в парогенераторах и теплообменниках АЭС.
20. Факторы, влияющие на скорость коррозионных процессов

Тема практического занятия:

7. Водно-химический режим горизонтальных ПГ насыщенного пара.
8. Водно-химический режим прямоточных ПГ.

Раздел 11. Основы проектирования парогенераторов и теплообменников АЭС

Задачи проектирования парогенераторов и виды расчётов. Особенности проектирования ПГ разного типа. Техничко-экономическое обоснование конструкции парогенераторов.

Темы лекций:

21. Основы проектирования парогенераторов и теплообменников АЭС.
22. Материалы парогенераторов АЭС.

Название лабораторной работы:

15. Применение методов 3D моделирования при проектировании парогенераторов и теплообменников АЭС.
16. Моделирование деталей парогенератора теплообменника АЭС

Раздел 12. Эксплуатация, надёжность, безопасность

Вопросы эксплуатации парогенераторов АЭС. Особенности эксплуатации парогенераторов, обогреваемых водой под давлением. Пуск и останов парогенераторов. Работа парогенераторов при базовых и переменных нагрузках. Нарушения в работе ПГ АЭС. Основные мероприятия по устранению неисправностей парогенераторов: отмывка поверхностей нагрева от отложений, диагностика и ремонт ПГ.

Тема лекции:

23. Повышение надёжности и безопасной эксплуатации парогенераторов АЭС.
24. Основные мероприятия по устранению неисправностей парогенераторов.

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;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;

- Выполнение домашних заданий, расчетно-графических работ;
- Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям;
- Выполнение курсовой работы или проекта, работа над междисциплинарным проектом;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям;

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература:

1. Алхутов, М. С. Теплоэнергетика и теплотехника. В 4 кн. Кн. 3. Тепловые и атомные электростанции : Справочная серия / под общ. ред. А. В. Клименко и проф. В. М. Зорина. - 4-е изд., стереот. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2007. - 648 с. (Справочная серия) - ISBN 978-5-383-00018-2. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383000182.html> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа : по подписке.

2. Баклушин Р.П., Эксплуатационные режимы АЭС : учебное пособие / Баклушин Р.П. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Издательский дом МЭИ, 2012. - 532 с. - ISBN 978-5-383-00641-2. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/MPEI177.html> (дата обращения: 07.12.2020). - Режим доступа : по подписке.

Дополнительная литература:

1. Воронов В.Н., Химико-технологические режимы АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами : учебное пособие для вузов / Воронов В.Н. - М. : Издательский дом МЭИ, 2009. - ISBN 978-5-383-01137-9. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011379.html> (дата обращения: 07.12.2020). - Режим доступа : по подписке.

3. Любимова, Л. Л. Технология подготовки воды для контуров котлов, парогенераторов, реакторов и систем их обеспечения : учебное пособие / Л. Л. Любимова, А. С. Заворин, А. А. Макеев. — Томск : ТПУ, 2009. — 293 с. — ISBN 5-98298-444-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/45149> (дата обращения: 07.12.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Любимова, Л. Л. Инженерные расчеты в водоподготовке паровых и водогрейных котлов : учебное пособие / Л. Л. Любимова, А. С. Заворин, А. А. Ташлыков. — Томск : ТПУ, 2009. — 133 с. — ISBN 5-98298-453-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/45148> (дата обращения: 07.12.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6.2. Информационное и программное обеспечение

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

1. электронное учебное пособие «Парогенераторы АЭС» в среде e-LMS MOODLE;
2. Росатом, Госкорпорация (полный цикл в сфере атомной энергетики и промышленности, Москва) – <http://www.rosatom.ru/>
3. «Концерн Росэнергоатом», ОАО (компания, эксплуатирующая АЭС России, Москва) – <http://www.rosenergoatom.ru/>
4. Атомстройэкспорт, ЗАО (строительство и эксплуатация АЭС за рубежом, Москва) – <http://www.atomstroyexport.ru/>

5. ИБРАЭ — Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (Москва) – <http://www.ibrae.ac.ru/>
6. НИКИЭТ им. Н. А. Доллежала (Москва) – <http://www.nikiet.ru/>
7. Всероссийский научно-исследовательский институт атомного энергетического машиностроения (ОАО «ВНИИАМ») – <http://www.vniiam.ru/>

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

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

1. Microsoft Word 2010;
2. Microsoft Power Point 2010;
3. Document Foundation LibreOffice;
4. Cisco Webex Meetings\$;
5. демонстрационная тренажер-программа “ПГВ-1000”;
6. демонстрационная тренажер-программа “ПГ энергоблока БН-800”;
7. «TABL1» - программа определения термодинамических и теплофизических параметров воды и водяного пара;
8. «TFS», «TFM» – программа для расчета теплофизических свойств теплоносителей;
9. WaterSteamPro – программа теплофизических и термодинамических свойств теплоносителей;
10. «KANAL» - программа для исследования устойчивости парогенерирующего канала;
11. «ALFA-1» и «ALFA-2» - программы для исследования теплообмена в поверхностях нагрева парогенераторов АЭС (со стороны теплоносителя и со стороны рабочего тела).

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, 302	– Комплект учебной мебели на 42 посадочных мест; – Компьютер - 1 шт.; – Проектор - 1 шт.
2.	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.

3.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 101А	– Доска аудиторная поворотная - 1 шт.; – Тумба подкатная - 1 шт.; – Стол письменный - 1 шт.; – Комплект учебной мебели на 11 посадочных мест; – Частотомер GFC-813Н - 1 шт.; – Виброметр -К1 - 1 шт.; – Сварочный аппарат - 1 шт. – ;Верстак слесарный_109-13 - 2 шт.; – Мультимонитор РНТ-027М (рН метр, кондуктометр) - 2 шт.; – Виброизмерительный прибор "Опал" - 1 шт.; – Микроскоп - 1 шт.; – Измеритель двухканальный ТРМ 200 - 2 шт.; – Измеритель влажн. НТ-3004 - 1 шт.; – Анеометр АТТ-1002 - 1 шт.; – Манометр ДМ5001Е-4кгс/см2 - 2 шт.; – Компьютер - 12 шт.; Телевизор - 2 шт
----	--	--

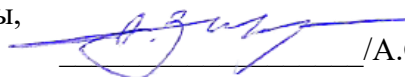
Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг (приема 2016 г., очная форма обучения).

Разработчик:

Должность	Степень	ФИО
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	к.т.н	Д.В. Гвоздяков

Программа одобрена на заседании кафедры АТЭС (протокол от 11.02.2016 г. № 2).

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

 /А.С. Заворин