

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

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2020 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

Ядерные энергетические реакторы

Направление подготовки/ специальность	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Проектирование и эксплуатация атомных станций		
Специализация	Проектирование и эксплуатация атомных станций		
Уровень образования	высшее образование - специалитет		
Курс	4,5	семестр	8,9
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	9		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	32	
	Практические занятия	32	
	Лабораторные занятия	32	
	ВСЕГО	96	
Самостоятельная работа, ч		228	
ИТОГО, ч		324	

Вид промежуточной аттестации	экзамен 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.
		Воробьев А.В.

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
				ПК(У)- 5.1У1	Умеет применять знания по теоретическим основам функционирования, технологическим схемам, конструкциям и характеристикам оборудования основных типов АС при проектировании
				ПК(У)- 5.131	Знает теоретические основы функционирования, технологические схемы, конструкции и характеристики оборудования основных типов АС
		И.ПК(У)-5.3	Применяет знания нормативных требований при проектировании АС и их оборудования	ПК(У)- 5.3B1	Владеет опытом применения знаний нормативных требований при проектировании оборудования АС
				ПК(У)- 5.3У1	Умеет применять знания нормативных требований при проектировании и эксплуатации оборудования АС
				ПК(У)-5.331	Знает нормативные требования к проектированию и эксплуатации оборудования АС
ПК(У)-9	Способен в составе рабочей группы проводить испытания	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 оборудо-

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
	основного и вспомогательного оборудования атомных станций и ядерных энергетических установок в процессе разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации, проводить физические эксперименты на этапах физического энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических параметров реакторной установки и АС в целом				вания АС в процессах разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации
				ПК(У)-9.1У1	Умеет выбирать необходимые методики проведения испытаний основного и вспомогательного оборудования АС в процессах разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации
				ПК(У)-9.1З1	Знает цели задачи проведения испытаний основного и вспомогательного оборудования АС в процессах разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации
		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 Ядерные энергетические реакторы
				ПК(У)-9.2У1	Умеет определять и анализировать характеристики основного и вспомогательного оборудования АС
				ПК(У)-9.2З1	Знает характеристики основного и вспомогательного оборудования АС в процессе разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации

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		Индикатор достижения компетенции
Код	Наименование	
РД1	Составлять математические модели тепловых и гидравлических процессов в ядерном реакторе	И.ПК(У)-9.1, И.ПК(У)-9.2
РД2	Использовать математические модели и программные комплексы для численного анализа всей совокупности процессов в ядерном реакторе	И.ПК(У)-9.1, И.ПК(У)-9.2
РД3	Разрабатывать проекты элементов и систем реакторной установке АС с целью их модернизации и улучшения технико-экономических показателей с использованием современных средств проектирования	И.ПК(У)-5.1
РД4	Применять принципы обеспечения оптимальных режимов работы оборудования реакторной установки при различных режимах работы АС с соблюдением требований безопасности	И.ПК(У)-5.3

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.
Раздел 1. Конструкторские характеристики ядерных энергетических реакторов	РД3	Лекции	8
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	8
		Самостоятельная работа	38
Раздел 2. Энерговыведение в ядерном реакторе. Коэффициенты неравномерности	РД2	Лекции	8
		Практические занятия	8
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	52
Раздел 3. Теплогидравлические процессы в ядерных энергетических реакторах	РД2	Лекции	8
		Практические занятия	12
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	62
Раздел 4. Основы управления работой ядерных реакторов	РД4	Лекции	2
		Практические занятия	6
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	33
Раздел 5. Методика теплогидравлического расчета ядерного реактора	РД3	Лекции	2
		Практические занятия	6
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	34
Раздел 6. Реакторные материалы.	РД1	Лекции	4
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	-

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Конструкторские характеристики ядерных энергетических реакторов

Понятие и принципиальная схема ядерной паропроизводящей установки. Требования, предъявляемые к ЯППУ. Типы ядерных паропроизводящих установок. Принципиальное устройство и основные элементы конструкции ядерного реактора (ЯР).

Требования, предъявляемые к конструктивным решениям ядерных реакторов в целом и отдельным конструктивным элементам. Классификация ЯР. Ядерные реакторы корпусного типа с водным замедлителем. Реакторы канального типа с графитовыми замедлителями и водным теплоносителем. Реакторы на быстрых нейтронах.

Темы лекций:

- 1 Введение.
- 2 Конструктивные особенности твэлов ЯЭР.
- 3 Тепловыделяющие сборки, технологические каналы.
- 4 Особенности конструкций ядерных реакторов различных типов.

Темы лабораторных занятий:

- 1 Изучение конструкции реактора ВВЭР (АУК ВВЭР-1000)
- 2 Изучение конструкции реактора БН-600 (АУК БН-600)

Раздел 2. Энерговыведение в ядерном реакторе. Коэффициенты неравномерности

Составляющие энерговыведения в материалах. Выделение тепла в замедлителе и стержнях СУЗ. Неравномерность энерговыведения.

Темы лекций:

- 5 Энерговыведение в активной зоне ядерного реактора
- 6 Распределение энерговыведения в реакторе. Коэффициенты неравномерности
7. Распределение характерных температур по высоте активной зоны реактора
- 8 Распределение характерных температур по радиусу топливной композиции

Темы практических занятий:

- 1 Расчет характеристик энергонапряженности активной зоны
- 2 Распределение параметров теплоносителя по высоте технологического канала

Темы лабораторных занятий:

- 3 Распределение параметров ТВС по высоте активной зоны ЯЭР

Раздел 3. Теплогидравлические процессы в ядерных энергетических реакторах

Факторы, лимитирующие параметры и мощность реактора. Гидравлические потери при омывании однофазным и двухфазным теплоносителем. Расчет коэффициентов теплоотдачи при течении однофазного и двухфазного теплоносителя. Теплотехническая надежность активной зоны реактора.

Темы лекций:

- 9 Гидродинамика в ядерных реакторах. Гидравлическое профилирование в ядерных реакторах
- 10 Теплообмен в ядерных реакторах. Однофазный теплоноситель
- 11 Теплообмен в ядерных реакторах. Кипящий теплоноситель
- 12 Теплотехническая надежность ядерного реактора. Кризисы теплообмена

Темы практических занятий:

- 3 Распределение температуры по радиусу топливной композиции
- 4 Расчет температурного состояния графитового замедлителя

Темы лабораторных занятий:

- 4 Распределение температур в топливной композиции ЯЭР

Раздел 4. Основы управления работой ядерных реакторов

Способы управления ядерной реакцией. Конструкция органов регулирования. Материалы органов регулирования. Анализ возможных аварийных ситуаций. Средства предотвращения аварий

Темы лекций:

13 Управление ядерным реактором

Темы практических занятий:

5 Расчет теплоотдачи при обтекании твэлов кипящим теплоносителем

Темы лабораторных занятий:

5 Температурное состояние графитового замедлителя реактора РБМК

Раздел 5. Методика теплогидравлического расчета ядерного реактора
--

Цель и задачи теплогидравлического расчета, соображения по выбору исходных данных для его проведения. Основные этапы расчета.

Темы лекций:

14 Основные положения теплогидравлического расчета ядерного реактора

Темы практических занятий:

6 Расчет кризиса теплообмена в ТВС водоохлаждаемых реакторов

Темы лабораторных занятий:

6 Изучение конструкции реактора PWR (АУК PWR)

Раздел 6. Реакторные материалы.
--

Общие и специфические требования, предъявляемые к реакторным материалам. Топливные материалы и их сравнительные характеристики. Конструкционные материалы: стали и сплавы для изготовления тепловыделяющих элементов (твэлов), тепловыделяющих сборок (ТВС), технологических каналов (ТК) и корпусов. Реакторный графит.

Прочностные расчеты элементов ядерных реакторов.

Темы лекций:

15 Материалы ядерных реакторов

16 Механические расчеты ядерных реакторов

Темы курсовых проектов:

1. Проект ядерного энергетического реактора типа ВВЭР тепловой мощностью
2. Проект ядерного энергетического реактора типа РБМК тепловой мощностью
3. Проект ядерного энергетического реактора типа АСТ заданной мощностью
4. Проект ядерного энергетического реактора типа БН заданной мощностью
5. Проект ядерного энергетического реактора типа КЛТ заданной мощностью
6. Проект ядерного энергетического реактора типа РИТМ мощностью 2000 МВт
7. Проект ядерного энергетического реактора типа ВВЭР мощностью 1500 МВт
8. Проект ядерного энергетического реактора типа РБМК мощностью 3200 МВт
9. Проект ядерного энергетического реактора типа БН мощностью 2600 МВт
10. Проект ядерного энергетического реактора типа ВВЭР мощностью 3000 МВт.

5. Организация самостоятельной работы студентов

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

- работа в электронном учебнике «Ядерные энергетические реакторы», разработанном в среде LMS MOODLE;

- 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;
- подготовка к лабораторным работам, к практическим занятиям;
- выполнение курсового проекта;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- подготовка к контрольным работам и экзамену.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература

1. Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие / С. Б. Выговский, А. А. Семенов, Н. О. Рябов, Е. В. Чернов. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. — 376 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75766> (дата обращения: 22.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Зайцев, П. А. Теплофизические характеристики тугоплавких материалов тепловыделяющих сборок реактора ЯРД : монография / П. А. Зайцев, П. П. Олейников, М. Л. Таубин. — Москва : Техносфера, 2017. — 188 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/110949> (дата обращения: 22.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Основное оборудование АЭС : учебное пособие / под редакцией С. М. Дмитриева. — Минск : Вышэйшая школа, 2015. — 288 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/65576> (дата обращения: 22.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Лескин, С. Т. Физические особенности и конструкция реактора ВВЭР-1000 : учебное пособие / С. Т. Лескин, А. С. Шелегов, В. И. Слободчук. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. — 116 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75760> (дата обращения: 22.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Шелегов, А. С. Физические особенности и конструкция реактора РБМК-1000 : учебное пособие / А. С. Шелегов, С. Т. Лескин, В. И. Слободчук. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. — 64 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75767> (дата обращения: 22.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная литература

1. Якубенко, И. А. Технологические процессы производства тепловой и электрической энергии на АЭС : учебное пособие / И. А. Якубенко, М. Э. Пинчук. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2013. — 288 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75782> (дата обращения: 22.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
-
2. Ядерные реакторы с водой сверхкритического давления (основы теплового расчета) : учебное пособие / В. И. Деев, А. Б. Круглов, Ю. А. Маслов [и др.] ; под редакцией В. И. Деева. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2015. — 156 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/119479> (дата обращения: 22.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Кириллов, Павел Леонидович. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / П. Л. Кириллов, Ю. С. Юрьев, В. П. Бобков. — Екатеринбург: АТП, 2015. — 294 с. - Текст : непосредственный 49 экз.
4. Матвеев В.И., Техническая физика быстрых реакторов с натриевым теплоносителем : учебное пособие / В.И. Матвеев, Ю.С. Хомяков; под ред. чл.-корр. РАН В.И. Рачкова. - М. : Издательский дом МЭИ, 2012. - 356 с. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383007174.html> (дата обращения: 22.07.2020). - Режим доступа : по подписке.
5. Саркисов А.А., Инженерные основы теории и эксплуатации судовых ядерных реакторов : учебное пособие для вузов / А.А. Саркисов, Л.Б. Гусев, Р.И. Калинин; под ред. акад. РАН А.А. Саркисова. - М. : Издательский дом МЭИ, 2011. - 549 с. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005170.html> (дата обращения: 22.07.2020). - Режим доступа : по подписке.

6.2. Информационное и программное обеспечение

6.2.1. Электронный учебник «Ядерные энергетические реакторы» в среде LMS MOODLE. Режим доступа: <https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=1876>.

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

- Росатом, Госкорпорация (полный цикл в сфере атомной энергетики и промышленности, Москва) <http://www.rosatom.ru/>
- «Концерн Росэнергоатом», ОАО (компания, эксплуатирующая АЭС России, Москва) <http://www.rosenergoatom.ru/>
- Атомстройэкспорт, ЗАО (строительство и эксплуатация АЭС за рубежом, Москва) <http://www.atomstroyexport.ru/>
- ИБРАЭ — Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (Москва) <http://www.ibrae.ac.ru/>
- НИКИЭТ им. Н. А. Доллежалея (Москва) <http://www.nikiet.ru/>
- Всероссийский научно-исследовательский институт атомного энергетического машиностроения (ОАО «ВНИИАМ») <http://www.vniiam.ru/>

6.2.3. Используемое лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ¹**):

- Microsoft Word 2010: <https://appserver01.main.tpu.ru/RDWeb/Pages/ru-RU/login.aspx>.
- Microsoft Power Point 2010: <https://appserver01.main.tpu.ru/RDWeb/Pages/ru-RU/login.aspx>.
- Excel. Режим доступа: <https://appserver01.main.tpu.ru/RDWeb/Pages/ru-RU/login.aspx>.
- Adobe Acrobat X Pro: <https://appserver01.main.tpu.ru/RDWeb/Pages/ru-RU/login.aspx>.
- CorelDraw X7: <https://appserver01.main.tpu.ru/RDWeb/Pages/ru-RU/login.aspx>.
- MathLab R2020a. Режим доступа: <https://appserver01.main.tpu.ru/RDWeb/Pages/ru-RU/login.aspx>.
- MathCAD 15. Режим доступа: <https://appserver01.main.tpu.ru/RDWeb/Pages/ru-RU/login.aspx>.
- Free Pascal: <https://appserver01.main.tpu.ru/RDWeb/Pages/ru-RU/login.aspx>.

6.2.4. Используемое оригинальное программное обеспечение:

- Компьютерная тренажер-программа «АУК ВВЭР-1000».
- Компьютерная тренажер-программа «АУК БН-600».
- Компьютерная тренажер-программа «АУК РWR».
- Компьютерная программа «ТВЭЛ» для моделирования распределения параметров теплоносителя по высоте активной зоне ядерного реактора.
- Компьютерная программа «ТВС» для моделирования распределения характерных температур по радиусу топливной композиции.
- Компьютерные программы «TABL1» и «TFS» для определения термодинамических и теплофизических параметров воды и водяного пара.
- Компьютерная программа «TFM» для расчета теплофизических свойств неводяных теплоносителей.

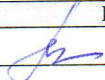
7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

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, 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.
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 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.
3.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а,38	– Комплект учебной мебели на 30 посадочных мест; – Крепление для проектора Perless PRG-UNV - 1 шт.; – Компьютер - 1 шт.; – Проектор - 1 шт.

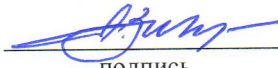
Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг специализация «Проектирование и эксплуатация атомных станций» (приема 2020 г., очная форма обучения).

Разработчик:

Должность	Подпись	ФИО
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова		А.В. Воробьев

Программа одобрена на заседании отделения НОЦ И.Н. Бутакова (протокол от 04.06.2020 г. №43).

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.
	Внесены изменения в разделы учебно-методическое, информационное, программное обеспечение дисциплины и материально-техническое обеспечение дисциплины	№ 44 от 26.06.2020 г.