

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 2017 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

**Физика ядерных реакторов**

Направление подготовки/ специальность	<b>14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг</b>		
Образовательная программа (направленность (профиль))	<b>Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг</b>		
Специализация	<b>Проектирование и эксплуатация атомных станций</b>		
Уровень образования	высшее образование - специалитет		
Курс	<b>4</b>	семестр	<b>7, 8</b>
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	<b>8</b>		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции		<b>48</b>
	Практические занятия		<b>32</b>
	Лабораторные занятия		<b>32</b>
	ВСЕГО		<b>112</b>
	Самостоятельная работа, ч		<b>212</b>
	ИТОГО, ч		<b>324</b>

Вид промежуточной аттестации	экзамен зачет	Обеспечивающее подразделение	НОЦ И.Н.Бутакова
Заведующий кафедрой – руководитель НОЦ И.Н. Бутакова на правах кафедры Руководитель ООП Преподаватель			<b>Заворин А.С.</b> 
			<b>Воробьев А.В.</b> 
			<b>Кузьмин А.В.</b> 

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)-16	способностью анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты ЯЭУ с целью обеспечения их эффективной и безопасной работы	Р17	ПК(У)- 16.В2	Владеет опытом анализа нейтронно-физических процессов в активной зоне ядерных реакторов
			ПК(У)- 16.У2	Умеет анализировать нейтронно-физические процессы в активной зоне ядерных реакторов
			ПК(У)- 16.32	Знает закономерности протекания нейтронно-физических процессов в активной зоне ядерного реактора
ПК(У)-17	способностью проводить нейтронно-физические и теплогидравлические расчеты ядерных реакторов в стационарных и нестационарных режимах работы	Р17	ПК(У)- 17.В1	Владеет опытом расчета нейтронно-физических процессов в активной зоне ядерных реакторов
			ПК(У)- 17.У1	Умеет рассчитывать нейтронно-физические процессы в активной зоне ядерных реакторов
			ПК(У)- 17.31	Знает методы расчета нейтронно-физических процессов в активной зоне ядерных реакторов
ПСК(У)-1.4	способностью выполнять теплогидравлические, нейтронно-физические и прочностные расчеты узлов и элементов проектируемого оборудования с использованием современных средств	Р17	ПСК(У)-1.4.В4	Владеет опытом использования современных средств расчета нейтронно-физических процессов в активной зоне ядерных реакторов
			ПСК(У)-1.4.У4	Умеет использовать современные средства расчета нейтронно-физических процессов в активной зоне ядерных реакторов
			ПСК(У)-1.4.34	Знает современные средства нейтронно-физического расчета активной зоны ядерного реактора

### 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	
РД-1	Делать постановку и проводить решение критической задачи в однокритериальном приближении	ПК(У)-17
РД-2	Применять теорию экспоненциального опыта	ПК(У)-16
РД-3	Рассчитывать миграционные характеристики и эффекты реактивности	ПК(У)-16
РД-4	Описывать физические и конструктивные особенности реактора ИРТ-М, его систему управления и защиты	ПСК(У)-1.4

### 4. Структура и содержание дисциплины

#### Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.

	дисциплине		
<b>Раздел 1. Критические размеры ЯР в одногрупповом приближении</b>	РД1	Лекции	6
		Практические занятия	8
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	26
<b>Раздел 2. Критическая и условно-критическая задачи в кинетическом приближении</b>	РД1, РД2	Лекции	6
		Практические занятия	6
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	26
<b>Раздел 3. Критические размеры в возрастном и многогрупповом приближениях</b>	РД2	Лекции	6
		Практические занятия	6
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	26
<b>Раздел 4. Теория решеток</b>	РД3	Лекции	6
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	26
<b>Раздел 5. Температурные эффекты</b>	РД3	Лекции	6
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	26
<b>Раздел 6. Управление ЯР</b>	РД2, РД3, РД4	Лекции	6
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	26
<b>Раздел 7. Физические особенности ЯР на тепловых нейтронах</b>	РД2, РД4	Лекции	6
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	28
<b>Раздел 8. Особенности физики быстрых ЯР</b>	РД3	Лекции	6
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	28

Содержание разделов дисциплины:

**Раздел 1. Критические размеры ЯР в одногрупповом приближении**

Формула четырех сомножителей. Критический размер ЯР. Влияние плотности вещества на критические параметры. Распределение потока нейтронов и тепловыделения в активной зоне ЯР без отражателя. Выравнивание тепловыделения по активной зоне. Уравнение нестационарного процесса диффузии.

**Темы лекций:**

1. Эффективный коэффициент размножения
2. Уравнение нестационарного процесса диффузии
3. Распределение потока нейтронов и тепловыделения в активной зоне ЯР без отражателя

**Темы практических занятий:**

1. Формула четырех сомножителей
2. Гомогенный реактор с отражателем в одногрупповом приближении
3. Квазикритическое уравнение реактора
4. Уравнение нестационарного процесса диффузии.

**Названия лабораторных работ:**

1. Основные особенности решения критической задачи в одногрупповом приближении

2. Влияние плотности вещества на критические параметры.
3. Выравнивание тепловыделения по активной зоне

## **Раздел 2. Критическая и условно-критическая задачи в кинетическом приближении**

Интегрально-дифференциальное уравнение баланса нейтронов. Индикатриса-рассеяния. Газокинетическое уравнение Больцмана, краевые условия, операторная форма. Интеграл деления, интеграл упругих и неупругих соударений. Постановка условно-критической задачи. Смысл эффективного коэффициента размножения. Мера не критичности.

### **Темы лекций:**

4. Интегрально-дифференциальное уравнение баланса нейтронов.
5. Индикатриса-рассеяния.
6. Газокинетическое уравнение Больцмана

### **Темы практических занятий:**

5. Постановка условно-критической задачи
6. Условия критичности
7. Смысл эффективного коэффициента размножения

## **Раздел 3. Критические размеры в возрастном и многогрупповом приближениях**

Математическая формулировка в возрастном приближении. Материальный параметр в приближении возраста и критический размер однородного ЯР с учетом и без учета резонансного поглощения. Условно-критическая задача в возрастном приближении. Двухгрупповой метод.

### **Темы лекций:**

7. Математическая формулировка в возрастном приближении
8. Гомогенный реактор с отражателем в двухгрупповом приближении
9. Условно-критическая задача в возрастном приближении

### **Темы практических занятий:**

8. Геометрический параметр реакторов различной формы
9. Материальный параметр в приближении возраста и критический размер однородного ЯР с учетом и без учета резонансного поглощения.
10. Многогрупповое приближение

## **Раздел 4. Теория решеток**

Преимущества и недостатки гетерогенных ЯР с физической точки зрения. Коэффициент использования тепловых нейтронов. Размножение на быстрых нейтронах. Вычисление вероятности избежать резонансного захвата  $\phi$ . Длина пробега нейтронов в решетке.

### **Темы лекций:**

10. Преимущества и недостатки гетерогенных ЯР с физической точки зрения.
11. Классификация решеток. Основные предположения и допущения.
12. Метод вероятностей первых столкновений

### **Темы практических занятий:**

11. Вычисление вероятности избежать резонансного захвата  $\phi$ .
12. Размножение на быстрых нейтронах.

**Названия лабораторных работ:**

4. Теория экспоненциального опыта.
5. Длина пробега нейтронов в решетке.
6. Расчет коэффициент использования тепловых нейтронов

**Раздел 5. Температурные эффекты**

Графики температурного эффекта реактивности (ТЭР) и температурного коэффициента реактивности (ТКР). Ядерный ТКР. Оценка вклада в ядерный ТКР отдельных составляющих для ЯР с урановым топливом на начало кампании. Особенности динамики ЯР с учетом температурного эффекта. Оценка температурного и мощностного эффектов.

**Темы лекций:**

13. Температурные эффекты
14. Ядерный ТКР.
15. Оценка вклада в ядерный ТКР отдельных составляющих для ЯР с урановым топливом на начало кампании.

**Темы практических занятий:**

13. Особенности динамики ЯР с учетом температурного эффекта
14. Оценка температурного и мощностного эффектов.

**Названия лабораторных работ:**

7. Расчет эффективной температуры топлива.
8. Графики температурного эффекта реактивности (ТЭР) и температурного коэффициента реактивности (ТКР).
9. Особенности динамики ЯР с учетом температурного эффекта.

**Раздел 6. Управление ЯР**

Система управления и защиты (СУЗ). Теория центрального ПС в одногрупповом и двухгрупповом приближениях, сравнение результатов и рекомендации к применению. Принцип выбора физического веса ПС различного назначения. Ценность и эффективная доля запаздывающих нейтронов. Особенности пуска и останова ЯР.

**Темы лекций:**

16. Система управления и защиты (СУЗ).
17. Теория центрального ПС в одногрупповом и двухгрупповом приближениях, сравнение результатов и рекомендации к применению.
18. Принцип выбора физического веса ПС различного назначения.

**Темы практических занятий:**

15. Ценность и эффективная доля запаздывающих нейтронов
16. Особенности пуска и останова ЯР.

**Названия лабораторных работ:**

10. Расчет миграционных характеристик и эффектов реактивности
11. Расчет физического веса ПС различного назначения
12. Расчет ценности и эффективной доли запаздывающих нейтронов

**Раздел 7. Физические особенности ЯР на тепловых нейтронах**

Особенности физики водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР) с водой под давлением. Физические особенности водо-водяных энергетических Р с кипением в активной

зоне (ВК). Физические особенности канальных графитовых и тяжеловодных ЯР с легководным кипящим теплоносителем. Конструктивные и физические особенности реактора ИРТ-Т.

**Темы лекций:**

19. Физические особенности ядерных реакторов на тепловых нейтронах
20. Физические особенности водо-водяных энергетических Р с кипением в активной зоне (ВК).
21. Физические особенности канальных графитовых и тяжеловодных ЯР с легководным кипящим теплоносителем.

**Названия лабораторных работ:**

13. Физические и конструктивные особенности реактора ИРТ-М
14. Особенности физики водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР) с водой под давлением.

<b>Раздел 8. Особенности физики быстрых ЯР</b>
--

ЯР на быстрых нейтронах, работающие в бридерном режиме. Теплофизические особенности. Период удвоения, его расчет в различных случаях. Физический расчет ЯР. Определение критической массы и коэффициента воспроизводства. Выравнивание энерговыделения. Выбор оптимального варианта.

**Темы лекций:**

22. Особенности физики быстрых ядерных реакторов
23. Теплофизические особенности.
24. Период удвоения, его расчет в различных случаях

**Названия лабораторных работ:**

15. Система управления и защиты реактора ИРТ-М.
16. Выравнивание энерговыделения. Выбор оптимального варианта.

## **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 информации;
- Выполнение домашних заданий;
- Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям;
- Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- Подготовка к контрольной работе и экзамену.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **16.1. Учебно-методическое обеспечение**

**Основная литература:**

1. Красников, П. В. Расчеты физических характеристик ядерных реакторов : учебное пособие / П. В. Красников, С. В. Столотнюк, Я. Д. Столотнюк. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. — 95 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/58558> (дата обращения: 22.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Наумов, В. И. Физические основы безопасности ядерных реакторов : учебное пособие / В. И. Наумов. — 2-е изд. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2013. — 148 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75778> (дата обращения: 22.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Кузьмин А.М., Моделирование физических процессов в энергетических ядерных реакторах на быстрых нейтронах : учебное пособие для вузов / А.М. Кузьмин, А.Н. Шмелев, В.А. Апсэ. - М. : Издательский дом МЭИ, 2015. - 128 с. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383007334.html> (дата обращения: 22.07.2020). - Режим доступа : по подписке.

#### **Дополнительная литература:**

1. 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.

## **6.2. Информационное и программное обеспечение**

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

1. Росатом, Госкорпорация (полный цикл в сфере атомной энергетики и промышленности, Москва) – <http://www.rosatom.ru/>
2. «Концерн Росэнергоатом», ОАО (компания, эксплуатирующая АЭС России, Москва) – <http://www.rosenergoatom.ru/>
3. ТВЭЛ, ОАО (производитель ядерного топлива, Москва) – <http://www.tvel.ru/>
4. ВНИИАМ — Всероссийский научно-исследовательский институт атомного энергетического машиностроения (ОАО «ВНИИАМ») – <http://www.vniiam.ru/>
5. Nuclear.Ru (информационно-аналитический портал для специалистов атомной отрасли) – <http://www.nuclear.ru/>
6. Atominfo.Ru (информационно-аналитический сайт для специалистов атомной отрасли) – <http://www.atominfo.ru/>
7. Атомная энергетика в Томской области – <http://www.aes.tomsk.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. При освоении теоретических разделов дисциплины используются: технические средства аудитории с АСУ ПДС (компьютеры);
2. программное обеспечение АСУ ПДС;
3. Windows 7/8/10;
4. MS Office 2010/2013/2015;
5. Matlab;
6. Mathcad;
7. Document Foundation LibreOffice;
8. Cisco Webex Meetings\$
9. Zoom Zoom.

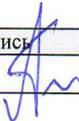
## 7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

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, 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,38	– Комплект учебной мебели на 30 посадочных мест; – Крепление для проектора Perless PRG-UNV - 1 шт.; – 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,32	– Комплект учебной мебели на 18 посадочных мест; – Компьютер - 20 шт.; – Проектор - 1 шт.

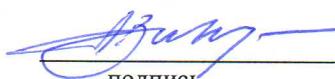
Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг специализация «Проектирование и эксплуатация атомных станций» (приема 2017 г., очная форма обучения).

Разработчик:

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

Программа одобрена на заседании кафедры АТЭС (протокол от 18.05.2017 г. № 19).

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)
2018/2019 учебный год	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обновлено программное обеспечение</li> <li>2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем</li> <li>3. Обновлено содержание разделов дисциплины</li> <li>4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС</li> <li>5. Изменена система оценивания</li> </ol>	№ 11 от 19.06.2018 г.
	Изменена система оценивания результатов обучения в Томском политехническом университете во всех дисциплинах и практиках, реализация которых начнётся с осеннего семестра 2018/19 учебного года и далее до завершения реализации программы.	№ 11/1 от 27.08.2018 г.
2019/2020 учебный год	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обновлено программное обеспечение</li> <li>2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем</li> <li>3. Обновлено содержание разделов дисциплины</li> <li>4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС</li> </ol>	№ 29 от 30.05.2019
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.