

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

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯТЦ

(О.Ю. Долматов)

«25» 06

2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2018 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

**ДИНАМИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ**

Направление подготовки/ специальность	<b>14.03.02 Ядерные физика и технологии</b>		
Образовательная программа (направленность (профиль))	<b>Ядерные физика и технологии</b>		
Специализация	<b>Ядерные реакторы и энергетические установки</b>		
Уровень образования	высшее образование - бакалавриат		
Курс	4	семестр	<b>8</b>
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	<b>3</b>		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции		<b>22</b>
	Практические занятия		<b>22</b>
	Лабораторные занятия		<b>-</b>
	ВСЕГО		<b>44</b>
	Самостоятельная работа, ч		<b>64</b>
	ИТОГО, ч		<b>108</b>

Вид промежуточной аттестации	<b>Экзамен</b>	Обеспечивающее подразделение	<b>ОЯТЦ</b>
---------------------------------	----------------	---------------------------------	-------------

Заведующий кафедрой - руководитель отделения		А.Г. Горюнов
Руководитель ООП		П.Н. Бычков
Преподаватель		Ю.Б. Чертков

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 (СУОС)	Наименование компетенции (СУОС)	Индикаторы достижения компетенции		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код	Наименование	Код	Владение опытом
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	И.ОПК(У)-1.2.	Применяет математический аппарат уравнений в частных производных, уравнений теплопроводности и диффузии, уравнения Даламбера в инженерной деятельности	ОПК(У)-1.2В1	Владеет аппаратом математической физики для проведения теоретического исследования и моделирования физических и химических процессов и явлений, а также, для решения профессиональных задач.
				ОПК(У)-1.2У1	Умеет решать дифференциальные уравнения в частных производных
				ОПК(У)-1.2З1	Знает основные понятия, определения и методы теории дифференциальных уравнений в частных производных
ПК(У)-2	способностью проводить математическое моделирование процессов и объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов и компьютерных кодов для проектирования и анализа	И.ПК(У)-2.2	Способен использовать современные компьютерные технологии для проведения математического моделирования из различных предметных областей	ПК(У)-2.2В1	Владеет опытом моделирования различных физических явлений на основе различных математических подходов
				ПК(У)-2.2У1	Умеет применять методы для моделирования различных процессов, как с использованием стандартных пакетов, так и путем написания программ.
				ПК(У)-2.2З1	Знает методы математического моделирования в частности методы сеточного, статистического, конечно-разностного и др. решения поставленных задач
		И.ПК(У)-2.6	Демонстрирует знание и понимание динамики физических процессов, происходящих в ядерном реакторе при его выводе в критическое состояние, при работе на мощности и при его остановке (при приведении реактора в безопасное подкритическое состояние); может анализировать пространственно-временные процессы в исследовательских и энергетических реакторах	ПК(У)-2.6В1	Владеет опытом проведения нейтронно-физических расчетов реактивных и энергетических параметров реактора, расчетов коэффициентов неравномерности энерговыделения; обработки результатов этих расчетов и экспериментов; интерпретации полученных результатов в рамках изученных закономерностей.
				ПК(У)-2.6У1	Умеет применять законы кинетики и динамики ядерных реакторов для прогнозирования протекания нестационарных процессов в ядерных реакторах; рассчитывать реактивные параметры реактора, эффективности органов регулирования, эффекты интерференции; проводить перегрузку реактора перед проведением очередной кампании.
				ПК(У)-2.6З1	Знает понятия реактивности, периода реактора и связь этих параметров, внутренние обратные связи в реакторе, их стабилизирующая и дестабилизирующая роль, методики и способы расчета основных

Код компетенции (СУОС)	Наименование компетенции (СУОС)	Индикаторы достижения компетенции		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код	Наименование	Код	Владение опытом
					нейтронно-физических характеристик реактора, методы и программы расчета распределений плотности потока нейтронов и энерговыделения по радиусу элементарной и сложной ячейки реактора; методы и способы расчета основных нейтронно-физических характеристик реактора методы и программы расчета распределений плотности потока нейтронов по объему реактора.
ПК(У)-13	способностью к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда	И.ПК(У)-13.3	Анализирует параметры безопасной эксплуатации ядерных установок	ПК(У)-13.3В1	Владеет навыками расчёта динамических процессов, протекающих в активной зоне ядерного реактора, оказывающих влияние на безопасную эксплуатацию
				ПК(У)-13.3У1	Умеет применять законы кинетики для прогнозирования нестационарных процессов в ядерных реакторах, рассчитывать внутренние обратные связи в реакторе (температурные, мощностные, плотностные эффекты и коэффициенты реактивности), прогнозировать поведение реакторов при малых и больших возмущениях реактивности;
				ПК(У)-13.331	Знает особенности и потенциальную опасность нестационарных процессов в ядерных реакторах, кинетика реактора в точечном приближении, понятие реактивности, эффекты реактивности, поведение реакторов при малых и больших возмущениях реактивности.

## 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	
РД 1	Способен применять математические, естественнонаучные и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области прогнозирования работы ядерного реактора	ОПК(У)-1.2 И.ПК(У)-2.2 И.ПК(У)-2.6 И.ПК(У)-2.5
РД 2	Способен создавать расчетные модели ядерных реакторов, анализировать пространственно-временные процессы в исследовательских и энергетических реакторах.	И.ПК(У)-2.2 И.ПК(У)-2.6
РД 3	Способен выполнять расчеты нейтронно-физических характеристик	И.ОПК(У)-1.2 И.ПК(У)-13.3

	реакторных установок	
РД 4	Способен анализировать параметры безопасной эксплуатации ядерных установок	И.ПК(У)-13.3

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.
<b>Раздел (модуль) 1.</b> Элементарная кинетика ядерного реактора	РД1	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	12
<b>Раздел (модуль) 2.</b> Кинетика реактора с учетом запаздывающих нейтронов	РД1	Лекции	4
		Практические занятия	4
	РД2	Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	12
<b>Раздел (модуль) 3.</b> Кинетика реактора с учетом шести групп запаздывающих нейтронов	РД1	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	12
<b>Раздел (модуль) 4.</b> Кинетика подкритического реактора	РД2	Лекции	4
		Практические занятия	4
	РД3	Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	12
<b>Раздел (модуль) 5.</b> Изменения запаса реактивности при работе реактора.	РД3	Лекции	6
		Практические занятия	6
	РД4	Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	16

Содержание разделов дисциплины:

##### Раздел 1. Элементарная кинетика ядерного реактора

Предмет дисциплины. Терминология ядерной индустрии. Основные допущения теории переходных процессов. Вывод элементарного кинетического уравнения. Мгновенные и запаздывающие нейтроны и их характеристики. Среднее время жизни поколения нейтронов в тепловом реакторе. Период реактора, период удвоения мощности и их взаимосвязь.

##### Темы лекций:

1. Предмет дисциплины. Терминология ядерной индустрии. Основные допущения теории переходных процессов. Вывод элементарного кинетического уравнения. Мгновенные и запаздывающие нейтроны.
2. Характеристики запаздывающих нейтронов. Среднее время жизни поколения нейтронов в тепловом реакторе. Период реактора.

##### Темы практических занятий:

1. Мощность реактора. Энерговыведение в активной зоне.

## 2. Коэффициент размножения. Реактивность.

### **Раздел 2. Кинетика реактора с учетом запаздывающих нейтронов**

Система дифференциальных уравнений кинетики реактора с учётом одной и шести групп запаздывающих нейтронов. Уравнение обратных часов. Реактивность.

#### **Темы лекций:**

1. Вывод уравнения кинетики реактора с одной группой запаздывающих нейтронов. Решение уравнения кинетики с одной группой запаздывающих нейтронов. Уравнение обратных часов.
1. Реактивность реактора. Единицы измерения реактивности. Решение уравнения кинетики с одной группой запаздывающих нейтронов. Переходные процессы при сообщении реактору положительной и отрицательной реактивности.

#### **Темы практических занятий:**

1. Выгорание горючего в ядерном реакторе. Шлакование горючего в ядерном реакторе.
2. Подкритическое состояние реактора.

### **Раздел 3. Кинетика реактора с учетом шести групп запаздывающих нейтронов**

Система дифференциальных уравнений кинетики реактора с учётом одной и шести групп запаздывающих нейтронов и его решение. Уравнение обратных часов с шестью группами запаздывающих нейтронов. Анализ переходных процессов при сообщении реактору реактивности.

#### **Темы лекций:**

1. Вывод уравнения кинетики реактора с шестью группами запаздывающих нейтронов. Решение этого уравнения. Переходные процессы при сообщении реактору отрицательной реактивности.
2. Переходные процессы при сообщении реактору положительных реактивностей.

#### **Темы практических занятий:**

1. Подкритическое и критическое состояние реактора.
2. Надкритическое состояние реактора.

### **Раздел 4. Кинетика подкритического реактора**

Источники нейтронов в ядерном реакторе. Подкритическое состояние реактора. Уравнение кинетики подкритического реактора. Устанавливаемая в подкритическом реакторе плотность нейтронов. Переходные процессы при изменениях степени подкритичности реактора и их характеристики. Запас реактивности. Дифференциальное уравнение выгорания урана-235. Энерговыводка реактора. Потери запаса реактивности с выгоранием топлива. Основные характеристики выгорания.

#### **Темы лекций:**

1. Вывод уравнения кинетики реактора в подкритическом состоянии. Решение этого уравнения. Переходные процессы при изменениях степени подкритичности реактора. Время практического установления подкритической плотности нейтронов. Устанавливаемая в подкритическом реакторе плотность нейтронов.
2. Понятие общего и оперативного запаса реактивности. Основные характеристики распределения энергосвечения по объему реактора. Дифференциальное уравнение выгорания урана-235. Энерговыводка реактора. Потери запаса реактивности с выгоранием

топлива. Основные характеристики выгорания. Основные характеристики распределения энерговыделения по объему реактора.

**Темы практических занятий:**

1. Надкритическое состояние реактора.
2. Характеристики распределения энерговыделения в активной зоне реактора.

<b>Раздел 5. Изменение запаса реактивности при работе реактора. Отравление реактора.</b>
--

Выгорание и шлакование реактора. Отравление реактора ксеноном-135 и самарием-149. Температурные эффекты реактивности. Потери запаса реактивности при работе реактора. Эффекты и коэффициенты реактивности. Устойчивость реактора.

**Темы лекций:**

1. Отравление реактора ксеноном-135.
2. Отравление реактора самарием-149.
3. Температурные эффекты реактивности. Устойчивость реактора.

**Темы практических занятий:**

1. Подготовка исходных данных для расчета элементарной ячейки ядерного реактора. Расчет реактора. Программы расчета нейтронно-физических параметров.
2. Расчет нейтронно-физических параметров элементарной ячейки реактора.
3. Расчет нейтронно-физических параметров элементарной ячейки реактора (продолжение).

## **5. Организация самостоятельной работы студентов**

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

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Работа в электронном курсе (изучение теоретического материала, выполнение индивидуальных заданий и контролирующих мероприятий и др.);
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Подготовка к практическим и семинарским занятиям;
- Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям;

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

### **6.1. Учебно-методическое обеспечение**

**Основная литература:**

1. Копосов Е. Б. Кинетика ядерных реакторов: учебное пособие / Е. Б. Копосов. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 115 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/103467> (дата обращения: 19.02.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. ВВЭР-1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность / А. М. Афров, С. А. Андрущечко, В. Ф. Украинцев [и др.]. — Москва: Логос, 2006. — 488 с.: ил. — Текст: непосредственный.

3. Широков Сергей Васильевич. Физика ядерных реакторов: учебное пособие / С. В. Широков. — Минск: Вышэйшая школа, 2011. — 351 с.: ил. — Текст: непосредственный.

#### Дополнительная литература:

1. Владимиров Владимир Иванович. Физика ядерных реакторов: практические задачи по их эксплуатации / В. И. Владимиров. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва: URSS, 2009. — 478 с.: ил. — Текст: непосредственный.
2. 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: 19.02.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Увакин М. А. Лабораторный практикум "Физическая теория ядерных реакторов: учебное пособие / М. А. Увакин, В. И. Савандер. — Москва: НИЯУ МИФИ, 2013. — 56 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75781> (дата обращения: 19.02.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## 6.2. Информационное и программное обеспечение

1. Основы физики ядерных реакторов - <https://www.edx.org/course/nuclear-reactor-physics-basics>
2. Электронно-библиотечная система «Лань» - <https://e.lanbook.com/>.
3. Электронно-библиотечная система «Юрайт» - <https://urait.ru/>.
4. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» - <http://www.rosatom.ru/>

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

1. Прикладное программное обеспечение «DYNCO» для проведения лабораторных работ по курсу «Физика ядерных реакторов» для проведения лабораторных работ по основным разделам Физики ядерных реакторов.
2. Программа нейтронно-физического расчета элементарной ячейки ядерного реактора WIMS-ANL для проведения лабораторных работ по основным разделам курса «Физика ядерных реакторов».
3. Программа нейтронно-физического расчета элементарной ячейки ядерного реактора WIMSD5B для проведения лабораторных работ по основным разделам курса «Физика ядерных реакторов».

## 7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины (заполняется при наличии)

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 634028, Томская область, г.	Доска аудиторная настенная - 2 шт.; Комплект учебной мебели на 48 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.

	Томск, Ленина проспект, д. 2 340	
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс) 634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 2 321	Комплект учебной мебели на 12 посадочных мест; Компьютер - 8 шт.; Принтер - 1 шт.; Телевизор - 1 шт

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 14.03.02 Ядерные физика и технологии (приема 2018 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):  
Доцент ОЯТЦ

Чертков Ю.Б.

Программа одобрена на заседании ОЯТЦ ИЯТШ (протокол от «31» мая 2018 г. №3).

Руководитель выпускающего отделения  
д.т.н, профессор

\_\_\_\_\_/А.Г. Горюнов/  
подпись

**Лист изменений рабочей программы дисциплины:**

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании ОЯТЦ (протокол)
2018/2019 учебный год	1. Изменена система оценивания	От 27.08.2018г. № 3-д
2019/2020 учебный год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлено содержание разделов дисциплины 4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС	От 28.06.2019 г. № 16
2020/2021 учебный год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлено содержание разделов дисциплины 4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС	От 01.09.2020 №29-д