

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

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯТШ

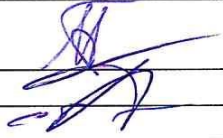
Долматов О.Ю.

«25» 06 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2020 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

**ФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

|                                                                                                                              |                                                                                    |                        |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------|
| Направление подготовки/<br>специальность                                                                                     | <b>14.04.02 Ядерные физика и технологии</b>                                        |                        |          |
| Образовательная программа<br>(направленность (профиль))                                                                      | <b>Nuclear Science and Technology /<br/>Ядерные физика и технологии</b>            |                        |          |
| Специализация                                                                                                                | <b>Nuclear Power Engineering /<br/>Ядерные реакторы и энергетические установки</b> |                        |          |
| Уровень образования                                                                                                          | высшее образование - магистратура                                                  |                        |          |
| Курс                                                                                                                         | <b>2</b>                                                                           | семестр                | <b>3</b> |
| Трудоемкость в кредитах<br>(зачетных единицах)                                                                               | <b>4</b>                                                                           |                        |          |
| Виды учебной деятельности                                                                                                    | Временной ресурс                                                                   |                        |          |
| Контактная (аудиторная)<br>работа, ч                                                                                         | Лекции                                                                             | 32                     |          |
|                                                                                                                              | Практические занятия                                                               | 32                     |          |
|                                                                                                                              | Лабораторные занятия                                                               | -                      |          |
|                                                                                                                              | <b>ВСЕГО</b>                                                                       | <b>64</b>              |          |
| Самостоятельная работа, ч                                                                                                    |                                                                                    | <b>80</b>              |          |
| в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с<br>выделенной промежуточной аттестацией (курсовой<br>проект, курсовая работа) |                                                                                    | <b>курсовой проект</b> |          |
| <b>ИТОГО, ч</b>                                                                                                              |                                                                                    | <b>144</b>             |          |

|                                                      |                                                                                      |                                 |                  |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|
| Вид промежуточной<br>аттестации                      | <b>Зачёт,<br/>Диф.зачет</b>                                                          | Обеспечивающее<br>подразделение | ОЯТЦ ИЯТШ        |
| Зав. кафедрой-руководитель<br>ОЯТЦ на правах кафедры |  |                                 | А.Г. Горюнов     |
| Руководитель ООП                                     |                                                                                      |                                 | В.В. Верхотурова |
| Преподаватель                                        |                                                                                      |                                 | С.Н. Тимченко    |

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                                                                                                                                                                                                                   |
| УК(У)-2         | Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла                                                                                            | И.УК(У)-2.1                       | Управляет проектом, выделяя этапы жизненного цикла проекта, определяет связи между поставленными задачами и ожидаемыми результатами их решения                                | УК(У)-2.1В1                                                 | Владеет методиками разработки и управления проектом                                                                                                                                                                            |
|                 |                                                                                                                                                            |                                   |                                                                                                                                                                               | УК(У)-2.1В2                                                 | Владеет методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта                                                                                                                                                         |
|                 |                                                                                                                                                            |                                   |                                                                                                                                                                               | УК(У)-2.1У1                                                 | Умеет разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ                                                                                      |
|                 |                                                                                                                                                            |                                   |                                                                                                                                                                               | УК(У)-2.1У2                                                 | Умеет объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта, определять основные этапы и направления работ                                                                                     |
|                 |                                                                                                                                                            |                                   |                                                                                                                                                                               | УК(У)-2.1З1                                                 | Знает этапы жизненного цикла проекта                                                                                                                                                                                           |
|                 |                                                                                                                                                            |                                   |                                                                                                                                                                               | УК(У)-2.1З2                                                 | Знает этапы разработки и реализации проекта                                                                                                                                                                                    |
| УК(У)-4         | Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия | И.УК(У)-4.2                       | Составляет академические и (или) профессиональные тексты на иностранном языке (английском)                                                                                    | УК(У)-4.2В1                                                 | Владеет навыками монологического высказывания на иностранном языке (английском) по профилю своей специальности, аргументировано излагая свою позицию и используя вспомогательные средства (таблицы, графики, диаграммы и т.п.) |
|                 |                                                                                                                                                            |                                   |                                                                                                                                                                               | УК(У)-4.2У1                                                 | Умеет составлять и представлять техническую и научную информацию, используемую в профессиональной деятельности, в виде презентации                                                                                             |
|                 |                                                                                                                                                            | И.УК(У)-4.3                       | Организует обсуждение результатов исследовательской и проектной деятельности на различных публичных мероприятиях на иностранном языке (английском), выбирая подходящий формат | УК(У)-4.3В1                                                 | Владеет полученными знаниями по иностранному языку (английскому) на достаточном уровне в своей будущей профессиональной деятельности                                                                                           |
|                 |                                                                                                                                                            |                                   |                                                                                                                                                                               | УК(У)-4.3З1                                                 | Знает основы структурирования доклада и подготовки презентаций на иностранном языке, (английском) принятых в международной среде                                                                                               |
| УК(У)-6         | Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы её совершенствования на основе самооценки                                | И.УК(У)-6.1                       | Оценивает свои ресурсы и их пределы (личностные, ситуативные, временные), оптимально их использует для успешного выполнения порученного задания                               | УК(У)-6.1В1                                                 | Владеет технологиями и навыками планирования и управления своей профессиональной деятельностью и её совершенствования                                                                                                          |
|                 |                                                                                                                                                            |                                   |                                                                                                                                                                               | УК(У)-6.1У1                                                 | Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования профессиональной деятельности                                                               |
|                 |                                                                                                                                                            |                                   |                                                                                                                                                                               | УК(У)-6.1З1                                                 | Знает особенности планирования самостоятельной деятельности в решении профессиональных задач                                                                                                                                   |
| ОПК(У)-3        | Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем         | И.ОПК(У)-3.1                      | Оформляет результаты научно-исследовательской деятельности с применением систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ                                               | ОПК(У)-3.1В1                                                | Владеет навыками оформления результатов научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ                   |
|                 |                                                                                                                                                            |                                   |                                                                                                                                                                               | ОПК(У)-3.1У1                                                | Умеет оформлять результаты                                                                                                                                                                                                     |

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |                                                                                                                                                                                                          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | компьютерной верстки и пакетов офисных программ                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              | научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ                                     |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ОПК(У)-3.131 | Знает основы оформления результатов научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ |
| ПК(У)-4  | Способен создавать теоретические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие излучения с веществом, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды | И.ПК(У)-4.1  | Использует методы и средства для создания теоретических и математических моделей, описывающих конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие излучения с веществом, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды | ПК(У)-4.1В11 | Владеет навыками выполнения инженерных расчетов по основным типам профессиональных задач                                                                                                                 |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ПК(У)-4.1У11 | Умеет применять методы моделирования, расчета и экспериментальных исследований при разработке ядерных реакторов и энергетических установок                                                               |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ПК(У)-4.310  | Знает основные методики расчета ядерных реакторов и энергетических установок                                                                                                                             |
| ПК(У)-7  | Способен производить оценку рисков и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения                                                                                            | И.ПК(У)-7.1  | Выбирает критерии безопасной работы ядерной установки и оценивает риски при эксплуатации                                                                                                                                                                                                                                                         | ПК(У)-7.1В1  | Владеет навыками применения методов расчета защиты, оптимального времени работы ядерного реактора, теплогидравлических характеристик                                                                     |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ПК(У)-7.1У1  | Умеет использовать закономерности ослабления ионизирующих излучений в веществе                                                                                                                           |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ПК(У)-7.131  | Знает принципиальные конструктивные решения узлов, элементов и материалов активной зоны и методов калибровки органов регулирования реактора, обеспечивающих его безопасную эксплуатацию                  |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | И.ПК(У)-7.2  | Участвует в разработке и внедрении мероприятий, направленных на обеспечение ядерной и радиационной безопасности                                                                                                                                                                                                                                  | ПК(У)-7.2У1  | Умеет выполнять расчетные оценки, необходимые для сопровождения ядерной и радиационной безопасности при нормальной эксплуатации и отклонениях от неё                                                     |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ПК(У)-7.2У2  | Умеет определять необходимые средства защиты и виды индивидуального дозиметрического контроля                                                                                                            |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |                                                                                                                                                                                                          |
| ПК(У)-9  | Способен самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники, методов расчета и проведения исследования                                                                                                          | И.ПК(У)-9.4  | Участвует в исследовании свойств систем автоматического управления реакторов и других физических установок при помощи математических средств и разрабатывает рекомендации по их проектированию                                                                                                                                                   | ПК(У)-9.4В1  | Владеет навыками проведения расчета эффективности компоновки системы управления и защиты реактора                                                                                                        |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ПК(У)-9.4У1  | Умеет применять показания контрольно-измерительной аппаратуры в расчетах системы управления и защиты реактора                                                                                            |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ПК(У)-9.431  | Знает основные характеристики подкритических, критических и надкритических мультиплицирующих систем                                                                                                      |
| ПК(У)-10 | Способен формулировать                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | И.ПК(У)-10.6 | Производит расчет и проектирует новые                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ПК(У)-10.6В2 | Владеет опытом проведения расчета по изменению реактивности                                                                                                                                              |

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |              |                                                                                                                                                                                                                                                |              |                                                                                                                                 |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | технические задания, использовать информационные технологии, стандартные средства автоматизации проектирования и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, материалов и приборов, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов |              | установки, приборы и изделия на основе проведенного анализа с применением стандартных средств автоматизации проектирования                                                                                                                     |              | реактора в результате отравления, шлакования, выгорания, воспроизводства, температурных эффектов ядерного горючего              |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |              |                                                                                                                                                                                                                                                | ПК(У)-10.6У2 | Рассчитывает отравление, шлакование реактора, выгорание и накопление изотопов горючего                                          |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |              |                                                                                                                                                                                                                                                | ПК(У)-10.632 | Знает физику процессов, происходящих в ядерных реакторах                                                                        |
| ПК(У)-11 | Способен разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторских работы                                                                                                                                                                                                             | И.ПК(У)-11.1 | Разрабатывает проекты технических условий, стандартов и технических описаний новых установок, материалов и изделий, учитывает их соответствие требованиям законов в области промышленности, экологии и безопасности и другим нормативным актам | ПК(У)-11.1В2 | Владеет опытом исполнения схем, графиков, чертежей, диаграмм, номограмм основных функциональных зависимостей в ядерном реакторе |

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части вариативного междисциплинарного профессионального модуля 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 | Применять глубокие математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной науки и техники. | И.ПК(У)-4.1<br>И.УК(У)-4.2<br>И.ПК(У)-9.4<br>И.ОПК(У)-3.1<br>И.ПК(У)-10.6               |
| РД2 | Определять, формулировать и решать междисциплинарные инженерные задачи в ядерной области с использованием профессиональных знаний и современных методов исследования.                                        | И.УК(У)-2.1<br>И.УК(У)-4.3<br>И.УК(У)-4.2<br>И.УК(У)-4.3                                |
| РД3 | Использовать основные и специальные подходы, навыки и методы для идентификации, анализа и решения технических проблем в ядерной науке и технике.                                                             | И.УК(У)-4.1<br>И.УК(У)-4.2<br>И.УК(У)-6.1<br>И.ПК(У)-10.6                               |
| РД4 | Способность разрабатывать многовариантные схемы для достижения поставленных производственных целей, с эффективным использованием имеющихся технических средств.                                              | И.УК(У)-2.1<br>И.УК(У)-6.1<br>И.ПК(У)-7.1<br>И.ПК(У)-7.2<br>И.ПК(У)-9.4<br>И.ПК(У)-11.1 |

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. Нейтронно-физические процессы    | РД1, РД2, РД3, РД4                           | Лекции                    | 16                |
|                                            |                                              | Практические занятия      | 16                |
|                                            |                                              | Лабораторные занятия      | -                 |
|                                            |                                              | Самостоятельная работа    | 40                |
| Раздел 2. Методы расчета ядерных реакторов | РД1, РД2, РД3, РД4                           | Лекции                    | 16                |
|                                            |                                              | Практические занятия      | 16                |
|                                            |                                              | Лабораторные занятия      | -                 |
|                                            |                                              | Самостоятельная работа    | 40                |

Содержание разделов дисциплины:

##### Раздел 1. Нейтронно-физические процессы

*Ядерный реактор. Цепная реакция деления. Основные параметры цепной реакции деления. Коэффициент размножения нейтронов. Физические особенности ядерного реактора. Влияние конструктивных особенностей на физические параметры реактора. Роль нейтронно-физических расчетов при проектировании ядерных реакторов. Активная зона. Твэлы. Отражатель. Структура ядерного реактора. Особенности реактора. Физическое проектирование. Выбор типа проектируемого реактора. Топливный цикл. Расход природного урана. Потенциальная опасность ядерного топлива. Деление ядер. Нейтроны. Запаздывающие нейтроны. Энергия деления. Сечения взаимодействия нейтронов с ядрами. Микроскопические и макроскопические сечения. Плотность потока нейтронов. Скорость ядерных взаимодействий. Утечка нейтронов. Замедление и диффузия нейтронов. Замедлители и отражатели нейтронов. Цепная реакция. Нейтронный цикл. Критические параметры реактора. Общая схема физических расчетов реактора. Спектр нейтронов. Групповые теории. Гомогенизация активной зоны. Элементарная ячейка реактора. Особенности одnogруппового приближения. Одnogрупповое уравнение и его решение. Граничные условия. Расчет реактора в одnogрупповом приближении в простых случаях. Многогрупповое приближение теории критических параметров*

##### Темы лекционных занятий:

1. Ядерный реактор. Цепная реакция деления. Основные параметры цепной реакции деления. Коэффициент размножения нейтронов.
2. Физические особенности ядерного реактора. Влияние конструктивных особенностей на физические параметры реактора. Роль нейтронно-физических расчетов при проектировании ядерных реакторов.
3. Активная зона. Твэлы. Отражатель. Структура ядерного реактора. Особенности реактора.
4. Физическое проектирование. Выбор типа проектируемого реактора. Топливный цикл. Расход природного урана. Потенциальная опасность ядерного топлива. Деление ядер.
5. Нейтроны. Запаздывающие нейтроны. Энергия деления. Сечения взаимодействия нейтронов с ядрами. Микроскопические и макроскопические сечения. Плотность потока нейтронов. Скорость ядерных взаимодействий. Утечка нейтронов.
6. Замедление и диффузия нейтронов. Замедлители и отражатели нейтронов.
7. Цепная реакция. Нейтронный цикл. Критические параметры реактора. Общая схема физических расчетов реактора. Спектр нейтронов. Групповые теории.

Гомогенизация активной зоны. Элементарная ячейка реактора.

8. Особенности одногруппового приближения. Одногрупповое уравнение и его решение. Граничные условия. Расчет реактора в одногрупповом приближении в простых случаях. Многогрупповое приближение теории критических параметров.

#### **Темы практических занятий:**

1. Ядерный реактор. Цепная реакция деления. Основные параметры цепной реакции деления. Коэффициент размножения нейтронов.
2. Физические особенности ядерного реактора. Влияние конструктивных особенностей на физические параметры реактора. Роль нейтронно-физических расчетов при проектировании ядерных реакторов.
3. Активная зона. Твэлы. Отражатель. Структура ядерного реактора. Особенности реактора.
4. Физическое проектирование. Выбор типа проектируемого реактора. Топливный цикл. Расход природного урана. Потенциальная опасность ядерного топлива. Деление ядер.
5. Нейтроны. Запаздывающие нейтроны. Энергия деления. Сечения взаимодействия нейтронов с ядрами. Микроскопические и макроскопические сечения. Плотность потока нейтронов. Скорость ядерных взаимодействий. Утечка нейтронов.
6. Замедление и диффузия нейтронов. Замедлители и отражатели нейтронов.
7. Цепная реакция. Нейтронный цикл. Критические параметры реактора. Общая схема физических расчетов реактора. Спектр нейтронов. Групповые теории. Гомогенизация активной зоны. Элементарная ячейка реактора.
8. Особенности одногруппового приближения. Одногрупповое уравнение и его решение. Граничные условия. Расчет реактора в одногрупповом приближении в простых случаях. Многогрупповое приближение теории критических параметров.

## **Раздел 2. Методы расчета ядерных реакторов**

*Метод разделения переменных. Ограниченный цилиндрический реактор. Многозонный цилиндрический реактор. Цилиндрический реактор с центральным поглощающим стержнем. Пример одногруппового расчета реактора. Основные коэффициенты диффузионного уравнения в гомогенных средах. Коэффициенты диффузионного уравнения в гетерогенном реакторе. Модель ячейки гетерогенного реактора. Распределение плотности потока тепловых нейтронов по ячейке гетерогенного реактора. Газокинетическое уравнение Больцмана. Возможности его упрощения. Конечно-разностный метод. Метод сферических гармоник. Метод дискретных ординат. Вероятностные методы. Метод вероятности первых столкновений. Метод Монте-Карло. Конечно-разностные методы. Избыточный и оперативный запасы реактивности. Баланс реактивности реактора. Составляющие баланса реактивности. Задачи физических расчетов. Особенности физических расчетов в реакторах различного типа. Расчеты элементарных ячеек реакторов. Расчеты реактора. Расчеты выгорания топлива. Расчеты эффективности поглощающих стержней. Основные характеристики активной зоны. Причины неравномерности энерговыделения в активной зоне. Выравнивание энерговыделения по активной зоне. Выбор и оптимизация начальной загрузки топлива.*

#### **Темы лекционных занятий:**

1. Метод разделения переменных. Ограниченный цилиндрический реактор. Многозонный цилиндрический реактор. Цилиндрический реактор с центральным поглощающим стержнем. Пример одногруппового расчета реактора.
2. Основные коэффициенты диффузионного уравнения в гомогенных средах. Коэффициенты диффузионного уравнения в гетерогенном реакторе. Модель ячейки гетерогенного реактора. Распределение плотности потока тепловых нейтронов по

ячейке гетерогенного реактора.

3. Газокинетическое уравнение Больцмана. Возможности его упрощения. Конечно-разностный метод. Метод сферических гармоник.
4. Метод дискретных ординат. Вероятностные методы. Метод вероятности первых столкновений. Метод Монте-Карло. Конечно-разностные методы.
5. Избыточный и оперативный запасы реактивности. Баланс реактивности реактора. Составляющие баланса реактивности.
6. Задачи физических расчетов. Особенности физических расчетов в реакторах различного типа.
7. Расчеты элементарных ячеек реакторов. Расчеты реактора. Расчеты выгорания топлива. Расчеты эффективности поглощающих стержней.
8. Основные характеристики активной зоны. Причины неравномерности энерговыделения в активной зоне. Выравнивание энерговыделения по активной зоне. Выбор и оптимизация начальной загрузки топлива.

#### **Темы практических занятий:**

1. Метод разделения переменных. Ограниченный цилиндрический реактор. Многозонный цилиндрический реактор. Цилиндрический реактор с центральным поглощающим стержнем. Пример одnogруппового расчета реактора.
2. Основные коэффициенты диффузионного уравнения в гомогенных средах. Коэффициенты диффузионного уравнения в гетерогенном реакторе. Модель ячейки гетерогенного реактора. Распределение плотности потока тепловых нейтронов по ячейке гетерогенного реактора.
3. Газокинетическое уравнение Больцмана. Возможности его упрощения. Конечно-разностный метод. Метод сферических гармоник.
4. Метод дискретных ординат. Вероятностные методы. Метод вероятности первых столкновений. Метод Монте-Карло. Конечно-разностные методы.
5. Избыточный и оперативный запасы реактивности. Баланс реактивности реактора. Составляющие баланса реактивности.
6. Задачи физических расчетов. Особенности физических расчетов в реакторах различного типа.
7. Расчеты элементарных ячеек реакторов. Расчеты реактора. Расчеты выгорания топлива. Расчеты эффективности поглощающих стержней.
8. Основные характеристики активной зоны. Причины неравномерности энерговыделения в активной зоне. Выравнивание энерговыделения по активной зоне. Выбор и оптимизация начальной загрузки топлива.

#### **Тематика проектов:**

1. Физический расчет ядерного реактора (параметры ВВЭР, Сечение ТВЭЛа – правильный шестиугольник,  $q_{\max}=26.5 \text{ W/cm}^2$ )
2. Физический расчет ядерного реактора (параметры ВВЭР, Сечение ТВЭЛа – правильный шестиугольник,  $q_{\max}=25 \text{ W/cm}^2$ )
3. Физический расчет ядерного реактора (параметры ВВЭР, Сечение ТВЭЛа – квадрат,  $q_{\max}=20 \text{ W/cm}^2$ )

### **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;
- Выполнение домашних заданий, расчетно-графических работ и домашних контрольных работ;
- Подготовка к практическим занятиям;
- Выполнение курсового проекта;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям.

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

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

#### **Основная литература:**

1. Oka Y. Nuclear Reactor Design / Y. Oka. – Tokyo : Springer, 2014. – 327 p. – Текст: электронный // SpringerLink. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-4-431-54898-0> (дата обращения: 20.09.2020). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
2. Hoffelner W. Materials for Nuclear Plants. From Safe Design to Residual Life Assessments / W. Hoffelner. – New York : Springer, 2013. – 477 p. — Текст: электронный // SpringerLink. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4471-2915-8> (дата обращения: 20.09.2020). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ
3. Nuclear Thermal Hydraulics / Н. Akimoto, Y. Anoda, T. Kazuyuki [and others] – Tokyo : Springer. 2009. – 291p. - Текст: электронный // SpringerLink. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-4-431-55603-9> (дата обращения: 20.09.2020). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
4. Fast Reactor System Design / by editor N. Kasahara. – Tokyo : Springer, 2017 – 298 p. Текст: электронный // SpringerLink. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-10-2821-2> (дата обращения: 20.09.2020). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
5. Marguet, S. The Physics of Nuclear Reactors / S. Marguet. — Cham : Springer International Publishing AG, 2017. — 1445 p. – Текст: электронный // SpringerLink. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-59560-3> (дата обращения: 20.09.2020). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.

#### **Дополнительная литература**

1. Fast Reactor System Design / by editor N. Kasahara. – Tokyo : Springer, 2017 – 298 p. Текст: электронный // SpringerLink. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-10-2821-2> (дата обращения: 20.09.2020). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
2. Handbook of Nuclear Engineering. With Figures and Tables. V. 1: Nuclear Engineering Fundamentals / by editor D. G. Cacuci. – Karlsruhe : Springer, 2010. – 3701 p. - Текст: электронный // SpringerLink. – URL: <https://link.springer.com/referencework/10.1007/978-0-387-98149-9> (дата обращения: 20.09.2020). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.

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

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

1. База данных SCOPUS <https://ezproxy.ha.tpu.ru:2219>
2. База данных Web of Knowledge (Web of Science) <http://ezproxy.ha.tpu.ru:2301>
3. Электронно-библиотечная система «Лань» - <https://e.lanbook.com/>.
4. Электронно-библиотечная система «Юрайт» - <https://urait.ru/>.
5. Росатом, Госкорпорация (полный цикл в сфере атомной энергетики и промышленности, Москва) <http://www.rosatom.ru/>
6. The official website of the engineering division of Rosatom State Corporation:

- <https://www.ase-ec.ru/en/products-and-services/design-of-npp/>
7. Институт атомной энергии <http://www.iae.kz/index.php/ru/the-community>
  8. Информационно-аналитический портал для специалистов атомной отрасли <http://www.nuclear.ru/>
  9. The International Atomic Energy Agency <https://www.iaea.org/>

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

Программное обеспечение не используется

## 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<br>634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 2, строен. 4, 303 | Комплект учебной мебели на 24 посадочных мест;<br>Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт. |

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы «Nuclear Science and Technology», специализация «Nuclear Power Engineering» по направлению 14.04.02 Ядерные физика и технологии (приема 2020 г., очная форма обучения).

Разработчики:

| Должность                                       | ФИО           |
|-------------------------------------------------|---------------|
| Доцент ОЯТЦ ИЯТШ                                | Тимченко С.Н. |
| Инженер УНЦ «Исследовательский ядерный реактор» | Ушаков И.А.   |

Программа одобрена на заседании Отделения ядерно-топливного цикла ИЯТШ (протокол от «25» июня 2020 г. № 28-д).

Зав. кафедрой-руководитель ОЯТЦ  
на правах кафедры, д.т.н, профессор

  
 \_\_\_\_\_ /А.Г. Горюнов/  
 подпись

**Лист изменений рабочей программы дисциплины:**

| Учебный год          | Содержание /изменение | Обсуждено на заседании<br>ОЯТЦ (протокол) |
|----------------------|-----------------------|-------------------------------------------|
| 2021/2021учебный год |                       | От __.__.20__ г.<br>№ _____               |