

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**СОГЛАСОВАНО**

**УТВЕРЖДАЮ**

---

**Руководитель ОПОП ВО**  
профессор В.А. Лебедев

---

**Проректор по образовательной**  
деятельности  
Д.Г. Петраков

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**

|                                     |                                                          |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>Уровень высшего образования:</b> | Магистратура                                             |
| <b>Направление подготовки:</b>      | 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника                  |
| <b>Направленность (профиль):</b>    | Технологии производства электрической и тепловой энергии |
| <b>Квалификация выпускника:</b>     | магистр                                                  |
| <b>Форма обучения:</b>              | очная                                                    |
| <b>Составитель:</b>                 | к.т.н. Лебедев В.А.                                      |

Санкт-Петербург

**Рабочая программа дисциплины «Ядерные энергетические установки» разработана:**

- в соответствии с требованиями ФГОС ВО магистратуры по направлению 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утвержденного приказом Минобрнауки России № 146 от 28.02.2018 г.
- на основании учебного плана магистратура по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, направленность (профиль) «Технологии производства электрической и тепловой энергии».

Составитель \_\_\_\_\_ к.т.н., профессор В.А. Лебедев

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Теплотехники и теплоэнергетики 31 января 2023 г., протокол № 8.**

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ к.т.н., профессор В.А. Лебедев

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ:

### Цель дисциплины:

- формирование универсальных и профессиональных специализированных компетенций в соответствии с принятыми видами профессиональной деятельности;
- формирование у студентов знаний и практических навыков в сфере ядерных энергетических установок как источника производства электрической и тепловой энергии.

### Основные задачи дисциплины:

- изучение нейтронно-физических процессов, происходящих в ядерных реакторах;
- изучение тепловых процессов, происходящих в ядерных реакторах;
- получение знаний об основных способах управления ядерной энергетической установкой;
- формирование знаний об основах безопасности при эксплуатации ядерных энергетических установок;
- освоение современных компьютерных методов расчетов нейтронно-физических и тепловых характеристик ядерных энергетических установок.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Ядерные энергетические установки» относится к дисциплинам «по выбору» части дисциплин, формируемых участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника (уровень магистратуры)» и изучается в 3 семестре.

Особенностью дисциплины является то, что большое внимание уделено пониманию нейтронно-физических процессов, происходящих в активной зоне ядерного реактора, а также вопросов эксплуатации ядерного реактора как источника тепловой энергии.. В учебном процессе применяются современные технологии и методики обучения, развивающие аналитические способности, практические умения и навыки у обучающихся.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Ядерные энергетические установки» направлен на формирование следующих компетенций и получение основных результатов обучения:

| Формируемые компетенции по ФГОС                                                                                                                    |                 | Основные показатели освоения дисциплины                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Содержание компетенции                                                                                                                             | Код компетенции |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла                                                                                    | УК -2           | УК-2.1. Участвует в управлении проектом на всех этапах жизненного цикла.                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Способен обеспечивать безопасную эксплуатацию основного и вспомогательного тепломеханического оборудования объектов профессиональной деятельности. | ПКС-3           | ПКС-3.1. Обеспечивает взаимодействия в процессе инженерно-технической поддержки при эксплуатации основного и вспомогательного тепломеханического оборудования объектов профессиональной деятельности.<br>ПКС-3.2. Организует работы подчиненного персонала по обеспечению безопасной эксплуатации основного и вспомогательного тепломеханического оборудования объектов |

| Формируемые компетенции по ФГОС                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                 | Основные показатели освоения дисциплины                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Содержание компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Код компетенции |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                 | профессиональной деятельности.<br>ПСК-3.3. Совершенствует технологии производственных процессов с соблюдением норм и правил промышленной безопасности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Способен к определению потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, подготовке обоснований развития энергохозяйства, реконструкции и модернизации систем тепло- и энергоснабжения, обеспечению бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического оборудования, электрических и тепловых сетей; участию в разработке мероприятий по соблюдению технологической дисциплины, совершенствованию технологии производства продукции на объектах профессиональной деятельности. | ПКС-4           | ПКС-4.1. Определяет потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, подготавливает обоснования развития энергохозяйства, реконструкции и модернизации систем тепло- и энергоснабжения.<br>ПКС-4.2. Обеспечивает бесперебойную работу, правильную эксплуатацию, ремонт и модернизацию энергетического, теплотехнического оборудования, электрических и тепловых сетей.<br>ПКС-4.3. Участвует в разработке мероприятий по соблюдению технологической дисциплины, совершенствованию технологии производства продукции на объектах профессиональной деятельности. |

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет **4** зачётные единицы, **144** часа.

| Вид учебной работы                                         | Всего ак. часов | Ак. часы по семестрам |
|------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|
|                                                            |                 | 3                     |
| <b>Аудиторные занятия, в том числе:</b>                    | <b>72</b>       | <b>72</b>             |
| Лекции                                                     | 36              | 36                    |
| Практические занятия (ПЗ)                                  | 36              | 36                    |
| <b>Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе</b> | <b>72</b>       | <b>72</b>             |
| Выполнение курсовой работы                                 | 36              | 36                    |

|                                                         |            |            |
|---------------------------------------------------------|------------|------------|
| Подготовка к практическим занятиям                      | 36         | 36         |
| Вид промежуточной аттестации – дифференцированный зачет | -          | -          |
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b>                    |            |            |
| <b>ак. час.</b>                                         | <b>144</b> | <b>144</b> |
| <b>зач. ед.</b>                                         | <b>4</b>   | <b>4</b>   |

## 4.2 Содержание дисциплины

Дисциплина содержит 7 разделов, которые обеспечивают следующие виды занятий: лекционный курс, практические занятия в аудитории, самостоятельная работа по подготовке и выполнению практических занятий и курсовой работы, промежуточными консультациями и зачетами текущих заданий, подготовка и сдача дифференцированного зачета.

### 4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

| №/№<br>п/п | Наименование разделов                          | Общая трудоемкость (часов) |           |                      |                     |                                                                       |
|------------|------------------------------------------------|----------------------------|-----------|----------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|            |                                                | Всего ак. часов            | Лекции    | Практические занятия | Лабораторные работы | Самостоятельная работа студента, в том числе курсовая работа (проект) |
| 1          | Введение. Физические основы реакторов ЯЭУ      | 24                         | 8         | 4                    | -                   | 12                                                                    |
| 2          | Реакторы и технологические схемы ЯЭУ           | 16                         | 4         | 4                    | -                   | 8                                                                     |
| 3          | Основы теории критического реактора            | 20                         | 4         | 6                    | -                   | 10                                                                    |
| 4          | Отвод теплоты в реакторе                       | 24                         | 4         | 8                    | -                   | 12                                                                    |
| 5          | Управление реактором                           | 24                         | 6         | 6                    | -                   | 12                                                                    |
| 6          | Активная зона в процессе эксплуатации реактора | 24                         | 6         | 6                    | -                   | 12                                                                    |
| 7          | Основы безопасности ЯЭУ. Заключение            | 12                         | 4         | 2                    | -                   | 6                                                                     |
|            | <b>Итого:</b>                                  | <b>144</b>                 | <b>36</b> | <b>36</b>            | <b>-</b>            | <b>72</b>                                                             |

### 4.2.2. Содержание разделов дисциплины

| №<br>п/<br>п | Наименование раздела дисциплины | Содержание лекционных занятий | Трудоемкость в ак. часах |
|--------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|--------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------|

| № п/п | Наименование раздела дисциплины           | Содержание лекционных занятий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Трудоемкость в ак. часах |
|-------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1.    | Введение. Физические основы реакторов ЯЭУ | <p>Структура дисциплины «Ядерные энергетические установки», ее значение для профессиональной подготовки. Место атомной энергетики в народном хозяйстве. Сопоставление ЯЭУ с энергетическими установками на органическом топливе. Основные этапы развития атомной энергетики, перспективы ее развития. Атом и ядро. Принцип эквивалентности массы и энергии. Ядерные силы: взаимодействие между нуклонами; поверхностные силы и кулоновские силы взаимного отталкивания между протонами. Энергия порога деления ядер урана. Зависимость энергии связи на один нуклон от массы ядра, возможность деления тяжелых ядер и синтеза легких ядер. Энергия, выделяющаяся при делении ядра урана. Эффективные сечения ядер. Цепная ядерная реакция. Возможность деления ядер <math>^{235}\text{U}</math> и <math>^{238}\text{U}</math>.</p> <p>Коэффициент размножения нейтронов в активной зоне. Влияние замедлителя на вероятность цепной реакции. Уравнение для коэффициента размножения нейтронов в системе бесконечных размеров (<math>K_\infty</math>).</p> | 8                        |
| 2.    | Реакторы и технологические схемы ЯЭУ      | <p>Классификация реакторов: по энергии нейтронов, назначению, виду замедлителя и теплоносителя и др. Конструкции энергетических реакторов. Водоводяной реактор (ВВЭР). Канальный реактор кипящий (РБМК). Реактор с газовым теплоносителем. Реактор воспроизводства ядерного топлива (быстрый реактор БН). Устройство реакторов: активная зона, корпус, замедлитель, биологическая защита, системы контроля и регулирования.</p> <p>Классификация ЯЭУ и их принципиальные технологические схемы. Атомные энергетические станции (АЭС); станции для выработки электрической энергии и теплоты для нужд теплоснабжения (АТЭЦ); станции теплоснабжения (АСТ); атомные станции для промышленных потребителей теплоты (АСПТ); станции с реакторами по воспроизводству ядерного горючего.</p> <p>Вспомогательное оборудование ЯЭУ и изменение параметров теплоносителя по тракту.</p>                                                                                                                                                                           | 4                        |
| 3.    | Основы теории критического реактора       | <p>Нейтронный поток. Количество взаимодействий нейтронов с ядрами вещества активной зоны реактора. Мощность реактора, выраженная через нейтронный поток. Уравнение баланса нейтронов в реакторе. Источник, поглощение и утечки</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 4                        |

| № п/п | Наименование раздела дисциплины                | Содержание лекционных занятий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Трудоемкость в ак. часах |
|-------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|       |                                                | нейтронов. Материальные и геометрические параметры реактора. Эффективный коэффициент размножения нейтронов ( $K_{эф}$ ). Последовательность решения уравнения реактора.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                          |
| 4.    | Отвод теплоты в реакторе                       | <p>Тепловыделение в активной зоне – кинетическая энергия осколков деления, нейтронов, излучения. Тепловая мощность реактора, выраженная через расход теплоносителя и величину нейтронного потока.</p> <p>Параметры теплоносителя в реакторах РБМК и ВВЭР. Определение размеров активной зоны реактора ВВЭР по заданной мощности. Расчет температурного режима тепловыделяющего элемента. Факторы надежности отвода теплоты в реакторе.</p> <p>Парогенераторы ЯЭУ с реактором ВВЭР. Изменение температуры теплоносителя и рабочего тела в парогенераторе. Конструкции горизонтального и вертикального парогенераторов. Регулирование тепловой мощности реактора, изменение расхода и температуры теплоносителя. Особенности конструкции парогенераторов с жидкометаллическим теплоносителем.</p>             | 4                        |
| 5.    | Управление реактором                           | <p>Реактивность, понятие критичности. Расходование запаса критичности в ходе кампании реактора. Мгновенные и запаздывающие нейтроны. Уравнение кинетики реактора, когда все нейтроны являются мгновенными. Период реактора. Среднее время жизни одного поколения нейтронов при учете запаздывающих нейтронов. Уравнение баланса нейтронов при учете запаздывающих нейтронов. Анализ уравнения кинетики реактора при малых и больших реактивностях. Мгновенная критичность реактора. Размножение нейтронов в подкритическом реакторе (пусковая задача). Температурные и другие эффекты реактивности активной зоны реактора. Свойство саморегулирования реактора.</p> <p>Система управления и защиты реактора. Группы стержней автоматического и ручного регулирования, компенсирующие, аварийной защиты.</p> | 6                        |
| 6.    | Активная зона в процессе эксплуатации реактора | Запас реактивности реактора и его изменение за период кампании. Выгорание ядерного горючего. Зашлаковывание активной зоны осколками деления. Воспроизводство горючего, коэффициент воспроизводства для «тепловых» и «быстрых» реакторов. Отравление реактора ксеноном-135. Йодная яма. Определение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 6                        |

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание лекционных занятий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Трудоемкость в ак. часах |
|-------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|       |                                 | пускового положения компенсирующих стержней.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                          |
| 7.    | Основы безопасности ЯЭУ         | <p>Понятие и виды безопасности ЯЭУ. Активность радионуклидов, единицы измерения активности. Взаимодействие излучения с веществом и биологическими объектами. Доза: экспозиционная, поглощенная, эквивалентная. Единицы измерения дозы. Мощность дозы. Предельно-допустимая доза для персонала АЭС. Допустимая мощность дозы и предельно-допустимое поступление радионуклидов в организм человека.</p> <p>Источники поступления радиоактивных загрязнений в помещения АЭС, атмосферу и водный бассейн. Защита персонала АЭС от излучений. Нейтрализация, переработка и захоронение радиоактивных отходов ядерного цикла. Приборы для измерения радиоактивности.</p> <p>Перспективы развития ЯЭУ, повышение их значения в топливно-энергетическом комплексе.</p> | 4                        |

#### 4.2.3. Практические занятия

| №/№ п/п       | Раздел    | Тематика практических занятий                                      | Трудоемкость в ак. часах |
|---------------|-----------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1             | Раздел 1. | Решение задач по физике реакторов                                  | 4                        |
| 2             | Раздел 2  | Конструкция элементов ЯР                                           | 4                        |
| 3             | Раздел 3  | Решение задач по кинетике ЯР                                       | 6                        |
| 4             | Раздел 4  | Температурный режим стержневого ТВЭЛа                              | 8                        |
| 5             | Раздел 5  | Решение задач по управлению ЯР                                     | 6                        |
| 6             | Раздел 6  | Изменение изотопного состава активной зоны в процессе эксплуатации | 6                        |
| 7             | Раздел 7  | Системы безопасности ЯЭУ                                           | 2                        |
| <b>Итого:</b> |           |                                                                    | <b>36</b>                |

#### 4.2.4. Лабораторные работы

Лабораторные работы учебным планом не предусмотрены

#### 4.2.5. Курсовые работы

| № п/п | Тематика курсовых работ                                                                             |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.    | Нейтронно-физический и тепловой расчет активной зоны ядерного реактора (по индивидуальному заданию) |

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе обучения применяются:



**Лекции**, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся.

Цели лекционных занятий:

- дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;
- стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

**Практические занятия.** Цели практических занятий:

- совершенствовать умения и навыки решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

**Консультации** (текущая консультация, накануне дифференцированного зачета) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке курсовой работы.

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

**Самостоятельная работа обучающихся** направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

**Курсовая работа** позволяет обучающимся развить навыки научного поиска.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости**

**Тематика для самостоятельной подготовки**

#### **Раздел 1. Физические основы реакторов ЯЭУ**

1. Из каких элементарных частиц состоит атом и ядро атома?
2. Что такое атомная единица массы?
3. Что такое дефект массы и энергия связи ядра?
4. Как изменяется энергия связи нуклонов в ядре от массового числа ядра?
5. Что понимается под микроскопическим и макроскопическим эффективным сечением ядер?
6. Что понимается под нейтронным потоком?
7. Как определяется количество поглощений и делений ядер урана при захвате ими нейтронов?
8. Напишите уравнение баланса тепловых нейтронов и объясните его составляющие.
9. Что является источником тепловых нейтронов в реакторе?
10. Как определяется утечка нейтронов при их замедлении и диффузии?
11. Что понимается под эффективным коэффициентом размножения нейтронов  $K_{эф}$ ?
12. Объясните величины, входящие в уравнение для  $K_{эф}$ .
13. Какие зависимости характеризуют изменение нейтронного потока по высоте и радиусу активной зоны реактора?
14. Каково влияние отражателя нейтронов на нейтронный поток в реакторе?

#### **Раздел 2. Реакторы и технологические схемы ЯЭУ**

1. Назовите основные части реактора и объясните их назначение.
2. Какие типы тепловыделяющих элементов применяются при конструировании реакторов?
3. Как устроен реактор корпусного типа? Приведите его основные характеристики?

4. Как устроен энергетический реактор канального типа? Приведите его характеристики.
5. Какие преимущества и недостатки АЭС с кипящими реакторами?
6. Какие преимущества и недостатки имеют реакторы, использующие в качестве теплоносителя жидкие металлы?
7. Изобразите принципиальные технологические схемы ядерных энергетических установок: АЭС с ВВЭР; АЭС с РБМК; АТЭЦ; АЭС и БН; АСТ; АСПТ.
8. Какое назначение имеют стержни регулирования?
9. Какое назначение имеют комплексирующие стержни?
10. Какие газы используются в качестве теплоносителей?
11. Как располагается топливо в ТВЭЛ?
12. Для какой цели в корпусном реакторе служит опорная плита?

### **Раздел 3. Основы теории критического реактора**

1. В чем причина необходимости замедления нейтронов?
2. Основные параметры замедлителей
3. Какие параметры характеризуют диффузию нейтронов?
4. Физический смысл возраста нейтронов.
5. Физический смысл длины диффузии.
6. Уравнение критического реактора без отражателя
7. Распределение нейтронного потока по высоте и радиусу активной зоны
8. Назначение отражателя нейтрона.
9. Физический смысл эффективной добавки.
10. Влияние толщины отражателя на утечку нейтронов.

### **Раздел 4. Отвод теплоты в реакторе**

1. Что является источником тепловыделения при делении ядра урана? Какова доля кинетической энергии осколков деления?
2. Определите суточный расход  $^{235}\text{U}$  на получение в реакторе тепловой энергии при мощности 1 МВт.
3. Выразите мощность реактора через нейтронный поток и расход теплоносителя.
4. Чем определяются параметры теплоносителя корпусного реактора?
5. Представьте графически изменение температуры теплоносителя и рабочей среды в парогенераторе энергоблока с реактором ВВЭР.
6. Какие параметры теплоносителя приняты для реактора РБМК?
7. Какие параметры теплоносителя (жидкого металла) приняты для установок с реактором БН?
8. Изложите последовательность определения размеров активной зоны реактора ВВЭР.
9. Как изменяются средние и максимальные тепловые потоки, приходящиеся на единицу объема горючего? На единицу поверхности нагрева? На единицу длины ТВЭЛ.
10. Приведите последовательность расчета максимальных температур оболочки и горючего ТВЭЛ?
11. Как устроены горизонтальный и вертикальный парогенераторы блока с реактором ВВЭР?

### **Раздел 5. Управление реактором**

1. Что понимают под реактивностью реактора? Как оценивается запас реактивности на начало кампании?
2. Что понимают под «мгновенными» и «запаздывающими» нейтронами? Какова доля запаздывающих нейтронов?
3. Что такое время жизни одного поколения нейтронов? Как оно изменяется при учете запаздывающих нейтронов?
4. Почему невозможно управление реактором, если бы все нейтроны были мгновенными?

5. Что такое дифференциальная и интегральная характеристики стержней регулирования?
6. Каковы источники нейтронов в остановленном реакторе?
7. Что такое минимально контролируемая мощность и как она достигается при пуске реактора?
8. Какие эффекты реактивности Вы знаете? Что такое температурный коэффициент реактивности?
9. Что понимается под свойством саморегулирования реактора?
10. Что называется температурным коэффициентом реактивности и температурным эффектом?
11. Чем обусловлено введение понятий «ядерный температурный коэффициент» и «плотностной температурный коэффициент»?
12. Какой знак температурный коэффициент реактивности должен иметь в области рабочей температуры активной зоны и почему?

### **Раздел 6. Активная зона в процессе эксплуатации реактора**

1. Какой физический смысл заложен в понятие «отравление реактора ксеноном»?
2. Какое сечение захвата нейтронов имеет  $^{135}\text{Xe}$ ?
3. Напишите схему образования ядер ксенона в активной зоне реактора.
4. Как изменяется стационарное отравление реактора  $^{135}\text{Xe}$ ? В зависимости от обогащения топлива  $^{235}\text{U}$  и величины нейтронного потока?
5. Как оценивается потеря реактивности за счет концентрации ядер ксенона?
6. По какой зависимости снижается реактивность за счет накопления  $^{135}\text{Xe}$  после спуска реактора?
7. Что такое «йодная яма»? Почему введено это понятие?
8. Как изменяется реактивность при уменьшении и увеличении мощности реактора?
9. Какой физический смысл имеет понятие «вынужденная остановка реактора»?
10. Почему  $^{149}\text{Sm}$  рассматривается особо от других видов шлаков?
11. Изобразите схему образования  $^{149}\text{Sm}$  в активной зоне реактора.
12. От чего зависит время достижения стационарного отравления самарием?
13. Почему после остановки реактора отравление ректора самарием увеличивается?
14. Как изменяется отравление самарием после очередного пуска реактора?
15. В чем отличие понятий «реактивность» и «запас реактивности»?
16. Почему используется выгорающий поглотитель нейтронов и какие эффекты реактивности он компенсирует?

### **Раздел 7. Основы безопасности ЯЭУ**

1. В каких единицах измеряется активность радионуклидов?
2. Каковы источники поступления радиоактивных загрязнений в помещения АЭС, атмосферу и водный бассейн?
3. Что такое поглощенная доза радиоизлучения, в каких единицах она измеряется?
4. Что такое экспозиционная доза радиоизлучения, в каких единицах она измеряется?
5. Что такое эквивалентная доза радиоизлучения, в каких единицах она измеряется?
6. В чем состоит биологическое действие радиоизлучения?
7. Что такое допустимая мощность дозы и предельнодопустимое поступление радионуклидов в организм человека?
8. Как обеспечивается защита персонала АЭС от радиоактивного облучения?
9. В чем состоит проблема переработки и захоронения радиоактивных отходов АЭС?
10. На каких физических принципах основаны приборы для измерения радиоактивности?

#### **6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (дифференцированного зачета)**

##### **6.2.1. Примерный перечень вопросов к дифференцированному зачету (по дисциплине):**

1. Ядерные силы: взаимодействие между нуклонами.
2. Энергия, выделяющаяся при делении ядра урана.

3. Эффективные сечения ядер.
4. Цепная ядерная реакция деления.
5. Коэффициент размножения нейтронов.
6. Классификация реакторов.
7. Устройство ядерных реакторов.
8. Нейтронный поток. Количество взаимодействий нейтронов с ядрами вещества активной зоны реактора. Мощность реактора.
9. Уравнение баланса нейтронов в реакторе.
10. Материальные и геометрические параметры реактора.
11. Эффективный коэффициент размножения нейтронов.
12. Тепловыделение в активной зоне.
13. Расчет температурного режима тепловыделяющего элемента.
14. Факторы надежности отвода теплоты в реакторе.
15. Реактивность, понятие критичности.
16. Мгновенные и запаздывающие нейтроны.
17. Уравнение кинетики реактора, когда все нейтроны являются мгновенными.
18. Уравнение баланса нейтронов при учете запаздывающих нейтронов.
19. Анализ уравнения кинетики реактора при малых и больших реактивностях.
20. Температурные и другие эффекты реактивности активной зоны реактора.
21. Запас реактивности реактора и его изменение за период кампании.
22. Выгорание ядерного горючего.
23. Зашлаковывание активной зоны осколками деления.
24. Воспроизводство горючего, коэффициент воспроизводства.
25. Отравление реактора ксеноном-135. Йодная яма.
26. Виды безопасности ЯЭУ.
27. Активность радионуклидов, единицы измерения активности.
28. Доза: экспозиционная, поглощенная, эквивалентная.
29. Допустимая мощность дозы и предельно-допустимое поступление радионуклидов в организм человека.
30. Защита персонала АЭС от излучений.

### 6.2.2. Примерные тестовые задания к дифференцированному зачету

#### 1 вариант

| № п/п | Вопрос                                    | Варианты ответа                                                                                                |
|-------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Явление радиоактивности открыл:           | 1. А. Беккерель<br>2. Э. Ферми<br>3. Э. Резерфорд<br>4. В. Рентген                                             |
| 2     | Нуклонами называют:                       | 1. Нейтроны, протоны и электроны<br>2. Нейтроны и электроны<br>3. Протоны и нейтроны<br>4. Протоны и электроны |
| 3     | Количество нуклонов в ядре определяет:    | 1. Атомный номер<br>2. Заряд ядра<br>3. Число нейтронов<br>4. Массовое число                                   |
| 4     | Энергия элементарных частиц измеряется в: | 1. Джоулях<br>2. Фарадах<br>3. Электронвольтах<br>4. Беккерелях                                                |
| 5     | $\alpha$ -частица – это:                  | 1. Электрон<br>2. Ядро атома гелия<br>3. Ядро атома водорода<br>4. Позитрон                                    |
| 6     | При радиоактивном распаде количество      | 1. Обратному                                                                                                   |

| № п/п | Вопрос                                                                            | Варианты ответа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       | ядер распадающегося вещества уменьшается по закону:                               | 2. Нормальному<br>3. Геометрической прогрессии<br>4. Экспоненциальному                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 7     | Реакция рассеяния нейтронов приводит к:                                           | 1. Уменьшению энергии нейтронов<br>2. Захвату нейтронов<br>3. Увеличению утечки нейтронов<br>4. Делению ядра                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 8     | Основным делящимся изотопом в ядерном реакторе является:                          | 1. U-235<br>2. U-238<br>3. U-239<br>4. Pu-239                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 9     | В природном уране доля U-238 составляет:                                          | 1. 0,7%<br>2. 2,47%<br>3. 99,3%<br>4. 88,7%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 10    | Средняя энергия реакции деления составляет (в МэВ):                               | 1. 2<br>2. 20<br>3. 200<br>4. 2000                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 11    | Пробег осколков деления в уране в среднем составляет:                             | 1. 1,5-2,2 см<br>2. 0,01 см<br>3. 0,014 мм<br>4. 0,0067 мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 12    | Микроскопическое эффективное сечение ядерной реакции измеряется в:                | 1. Метрах<br>2. Фарадах<br>3. Барнах<br>4. Беккерелях                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 13    | Резонансные нейтроны имеют диапазон энергий:                                      | 1. 1 эВ - 100 КэВ<br>2. <1 эВ<br>3. >100 КэВ<br>4. >2 МэВ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 14    | Средняя энергия быстрых нейтронов составляет:                                     | 1. 0,025 эВ<br>2. 2 КэВ<br>3. 0,2 МэВ<br>4. 2 МэВ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 15    | Коэффициентом размножения нейтронов в бесконечной среде называется:               | 1. Отношение числа нейтронов, вступивших в реакцию деления к числу нейтронов, образовавшихся после деления<br>2. Отношение числа нейтронов, образовавшихся после деления к числу нейтронов, вступивших в реакцию деления<br>3. Отношение количества нейтронов некоторого $n$ поколения к количеству нейтронов предыдущего $n-1$ поколения<br>4. Разность количества нейтронов, образовавшихся после реакции деления и количества нейтронов до реакции деления                                                                                                                              |
| 16    | Коэффициент $\rho$ - вероятность избежания резонансного захвата определяется как: | 1. Отношение числа всех нейтронов одного поколения, появившихся в результате деления $^{235}\text{U}$ и $^{238}\text{U}$ , к числу нейтронов этого поколения, появившихся при делении $^{235}\text{U}$ только тепловыми нейтронами<br>2. Отношение числа тепловых нейтронов, поглощенных топливной композицией к числу нейтронов, поглощенных всеми материалами активной зоны в одном поколении<br>3. Число быстрых вторичных нейтронов образующихся при захвате топливной композицией одного теплового нейтрона<br>4. Отношение числа нейтронов одного поколения, избежавших резонансного |

| № п/п | Вопрос                                                                  | Варианты ответа                                                                                                                                 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                                                                         | захвата, к числу нейтронов до прохождения резонансного интервала энергий.                                                                       |
| 17    | Наибольший коэффициент замедления имеет:                                | 1. Графит<br>2. Вода (H <sub>2</sub> O)<br>3. Бор<br>4. Тяжелая вода (D <sub>2</sub> O)                                                         |
| 18    | В ядерном реакторе отражатель:                                          | 1. Уменьшает утечку нейтронов<br>2. Способствует замедлению нейтронов<br>3. Увеличивает диффузию нейтронов<br>4. Повышает безопасность реактора |
| 19    | Ксенон-135 в реакторе образуется в результате:                          | 1. Деления U-235<br>2. Деления U-235 и выгорания J-135<br>3. Деления U-235 и распада J-135<br>4. Деления U-235 и U-238                          |
| 20    | Внутреннее облучение человека наиболее опасно в результате воздействия: | 1. α- излучения<br>2. β-излучение<br>3. Фотонного излучения<br>4. Электронного излучения                                                        |

## 2 вариант

| № п/п | Вопрос                                                                    | Варианты ответа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | В природном уране доля U-235 составляет:                                  | 1. 0,7%<br>2. 2,47%<br>3. 99,3%<br>4. 88,7%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2     | Средняя энергия тепловых нейтронов составляет:                            | 1. 2 эВ<br>2. 0,025 эВ<br>3. 2 МэВ<br>4. 2,47 МэВ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 3     | Наибольшую $\tau$ замедляющую способность имеет:                          | 1. Графит<br>2. Вода (H <sub>2</sub> O)<br>3. Бор<br>4. Тяжелая вода (D <sub>2</sub> O)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 4     | Коэффициент размножения на быстрых нейтронах $\epsilon$ определяется как: | 1. Отношение числа всех нейтронов одного поколения, появившихся в результате деления <sup>235</sup> U и <sup>238</sup> U, к числу нейтронов этого поколения, появившихся при делении <sup>235</sup> U только тепловыми нейтронами<br>2. Отношение числа тепловых нейтронов, поглощенных топливной композицией к числу нейтронов, поглощенных всеми материалами активной зоны в одном поколении<br>3. Число быстрых вторичных нейтронов образующихся при захвате топливной композицией одного теплового нейтрона<br>4. Отношение числа нейтронов одного поколения, избежавших резонансного захвата, к числу нейтронов до прохождения резонансного интервала энергий |
| 5     | В результате деления ядра U-235 образуется среднее число нейтронов:       | 1. 2<br>2. 0,0064<br>3. 0,64<br>4. 2,47                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 6     | Коэффициент размножения $k_{\infty}$ не учитывает процессы:               | 1. Рассеяния<br>2. Замедления<br>3. Диффузии<br>4. Утечки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 7     | Коэффициент $\phi$ характеризует:                                         | 1. Захват нейтронов ядрами U-238<br>2. Диффузию нейтронов в аз.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

| № п/п | Вопрос                                                                             | Варианты ответа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                                                                                    | 3. Поглощение нейтронов материалами аз<br>4. Замедление нейтронов в аз                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 8     | Коэффициент использования тепловых нейтронов определяется как:                     | 1. Среднее число тепловых нейтронов, образовавшихся в результате одного акта деления<br>2. Отношение числа тепловых нейтронов к числу быстрых нейтронов в одном поколении<br>3. Отношение числа тепловых нейтронов, поглощенных топливной композицией к числу тепловых нейтронов, поглощенных всеми материалами аз<br>4. Отношение числа нейтронов, начавших замедление к числу нейтронов, достигших теплового уровня                                                                                          |
| 9     | Концентрация Ксенона-135 в реакторе уменьшается в результате:                      | 1. Выгорания Хе-135 и распада Хе-135<br>2. Распада Хе-135 и выгорания J-135<br>3. Деления U-235 и распада J-135<br>4. Деления Хе-135 и J-135                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 10    | Коэффициент $\eta$ в формуле четырех сомножителей в основном зависит от:           | 1. Геометрии аз<br>2. Обогащения ядерного топлива<br>3. Замедляющих свойств аз<br>4. Соотношения количества топлива и замедлителя в аз                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 11    | Замедляющая способность выше у:                                                    | 1. Графита<br>2. Бора<br>3. Тяжелой воды ( $D_2O$ )<br>4. Воды ( $H_2O$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 12    | Процесс движения тепловых нейтронов в аз называется:                               | 1. Диффузия<br>2. Замедление<br>3. Утечка<br>4. Тепловыделение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 13    | Возраст нейтронов измеряется в:                                                    | 1. Секундах<br>2. см <sup>3</sup><br>3. Барнах<br>4. см/сек                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 14    | Шлакованием называется:                                                            | 1. Процесс накопления в ядерном топливе стабильных и долгоживущих нуклидов, участвующих в непроизводительном захвате нейтронов<br>2. Процесс образования в ядерном топливе нуклидов с небольшим периодом полураспада, участвующих в непроизводительном захвате нейтронов<br>3. Процесс быстрого уменьшения реактивности реактора вследствие введения в активную зону штатных поглотителей<br>4. Процесс резкого снижения мощности реактора в результате появления в топливе стабильных и долгоживущих нуклидов |
| 15    | Сечение поглощения тепловых нейтронов <sup>135</sup> Xe составляет (барн):         | 1. 200<br>2. $2,47 \cdot 10^3$<br>3. $2,72 \cdot 10^6$<br>4. $8,63 \cdot 10^{12}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 16    | Нейтронный поток в энергетических реакторах по высоте аз распределяется по закону: | 1. Экспоненциальному<br>2. Вейбулла<br>3. Бесселя<br>4. Косинуса                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 17    | Запаздывающие нейтроны в аз образуются в результате:                               | 1. 0,7%<br>2. 2,47%<br>3. 99,3%<br>4. 88,7%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

| № п/п | Вопрос                                                                                                                                                            | Варианты ответа                                                                                                                                                                         |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 18    | Произведение $\Sigma\Phi$ характеризует:                                                                                                                          | 1. Замедляющие свойства активной зоны<br>2. Закон радиоактивного распада<br>3. Среднее время жизни одного поколения нейтронов<br>4. Число ядерных реакций в 1 см <sup>3</sup> за 1 сек. |
| 19    | По международной шкале ядерных событий INES тяжелое повреждение активной зоны и физических барьеров с ограниченным выбросом вне площадки АЭС относится к событию: | 1. Серьезный инцидент<br>2. Авария без значительного риска для окружающей среды<br>3. Авария с риском для окружающей среды<br>4. Серьезная авария                                       |
| 20    | Эффективная доза для населения в год не должна превышать (в мЗв):                                                                                                 | 1. 1<br>2. 5<br>3. 50<br>4. 500                                                                                                                                                         |

### 3 вариант

| № п/п | Вопрос                                                                                | Варианты ответа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Закон радиоактивного распада имеет вид:                                               | 1. $dC/dt = -\lambda C$<br>2. $dC/dt = -\Sigma C$<br>3. $dC/dt = -\Sigma\Phi$<br>4. $dC/dt = -\lambda\Phi$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 2     | В результате одного акта деления выделяется энергия порядка:                          | 1. 2 МэВ<br>2. 2, 47 МэВ<br>3. 20 МэВ<br>4. 200 МэВ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 3     | После замедления нейтроны имеют энергию:                                              | 1. 0,0064 Эв<br>2. 0,025 Эв<br>3. 2 Эв<br>4. 2,47 Эв                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 4     | Коэффициент $\theta$ - коэффициент использования тепловых нейтронов определяется как: | 1. Отношение числа всех нейтронов одного поколения, появившихся в результате деления <sup>235</sup> U и <sup>238</sup> U, к числу нейтронов этого поколения, появившихся при делении <sup>235</sup> U только тепловыми нейтронами<br>2. Отношение числа тепловых нейтронов, поглощенных топливной композицией к числу нейтронов, поглощенных всеми материалами активной зоны в одном поколении<br>3. Число быстрых вторичных нейтронов образующихся при захвате топливной композицией одного теплового нейтрона<br>4. Отношение числа нейтронов одного поколения, избежавших резонансного захвата, к числу нейтронов до прохождения резонансного интервала энергий. |
| 5     | Микроскопические эффективные сечения измеряются в:                                    | 1. см/сек<br>2. 1/см <sup>3</sup><br>3. см <sup>2</sup><br>4. см <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 6     | Макроскопические эффективные сечения измеряются:                                      | 1. Барнах<br>2. см<br>3. 1/см<br>4. 1/см <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 7     | Коэффициент замедления выше у:                                                        | 1. Графита<br>2. Бора<br>3. Тяжелой воды (D <sub>2</sub> O)<br>4. Воды (H <sub>2</sub> O)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 8     | Длина диффузии характеризует процесс:                                                 | 1. Деления нейтронов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |



| № п/п | Вопрос                                                                                                                                                       | Варианты ответа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                                                                                                                                                              | 2. Замедления нейтронов<br>3. Движения тепловых нейтронов в аз<br>4. Утечки нейтронов из аз                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 9     | Уравнение обратных часов устанавливает зависимость между:                                                                                                    | 1. Периодом и реактивностью<br>2. Мощностью и реактивностью<br>3. Реактивностью и количеством тепла, снимаемого в аз<br>4. Нейтронным потоком и мощностью реактора                                                                                                                                                                                                   |
| 10    | Нейтронный поток в энергетических реакторах по радиусу аз распределяется по закону:                                                                          | 1. Экспоненциальному<br>2. Вейбулла<br>3. Бесселя<br>4. Косинуса                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 11    | Суммарная доля выхода запаздывающих нейтронов составляет:                                                                                                    | 1. 0,025<br>2. 0,0064<br>3. 0,17<br>4. 2,47                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 12    | Реактивностью называется:                                                                                                                                    | 1. Скорость изменения мощности реактора<br>2. Мера отклонения реактора от критического состояния<br>3. Скорость совершения реакции деления<br>4. Количество нейтронов, образующихся при делении ядра U-235 в 1 см <sup>3</sup> за 1 сек                                                                                                                              |
| 13    | <sup>135</sup> Xe в активной зоне образуется в результате:                                                                                                   | 1. Деления J-135 и распада Sm-149<br>2. Деления U-238 и распада Te-135<br>3. Деления U-235 и распада J-135<br>4. Распада U-235 и распада J-135                                                                                                                                                                                                                       |
| 14    | Период полураспада <sup>135</sup> Xe составляет :                                                                                                            | 1. 43 минуты<br>2. 1,7 часа<br>3. 9,3 часа<br>4. 7,6 дней                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 15    | При работе реакторе на постоянной мощности устанавливается                                                                                                   | 1. Превышение скорости выгорания <sup>135</sup> J над скоростью образования <sup>135</sup> Xe<br>2. Превышение скорости образования <sup>135</sup> Xe над скоростью его убыли<br>3. Равенство между скоростью образования <sup>135</sup> Xe и скоростью распада <sup>135</sup> J<br>4. Равенство между скоростью образования <sup>135</sup> Xe и скоростью его убыли |
| 16    | Причиной йодной ямы является:                                                                                                                                | 1. Превышение скорости образования <sup>135</sup> Xe над скоростью его убыли<br>2. Превышение скорости убыли <sup>135</sup> Xe над скоростью его образования<br>3. Ускоренное выгорание <sup>135</sup> J<br>4. Превышение скорости выгорания <sup>135</sup> J над скоростью образования <sup>135</sup> Xe                                                            |
| 17    | Для химического регулирования водородных реакторов АЭС используется:                                                                                         | 1. Гадолиний в механических СУЗ<br>2. Бор в теплоносителе<br>3. Ксенон в активной зоне<br>4. Гафний в замедлителе                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 18    | По международной шкале ядерных событий INES тяжелое повреждение активной зоны и физических барьеров с сильным выбросом вне площадки АЭС относится к событию: | 1. Серьезный инцидент<br>2. Авария без значительного риска для окружающей среды<br>3. Авария с риском для окружающей среды<br>4. Тяжелая авария                                                                                                                                                                                                                      |
| 19    | Чернобыльская авария по международной шкале ядерных событий INES относится к событию:                                                                        | 1. Авария без значительного риска для окружающей среды<br>2. Авария с риском для окружающей среды<br>3. Тяжелая авария<br>4. Серьезная авария                                                                                                                                                                                                                        |
| 20    | Эффективная доза для персонала в год не                                                                                                                      | 1. 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| № п/п | Вопрос                    | Варианты ответа         |
|-------|---------------------------|-------------------------|
|       | должна превышать (в мЗв): | 2. 5<br>3. 50<br>4. 500 |

### 6.2.3. Критерии оценок промежуточной аттестации (*дифференцированного зачета*)

| Оценка                                                                                            |                                                                                                                         |                                                                                                                       |                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «2»<br>(неудовлетворительно)                                                                      | Пороговый уровень освоения                                                                                              | Углубленный уровень освоения                                                                                          | Продвинутый уровень освоения                                                                                                         |
|                                                                                                   | «3»<br>(удовлетворительно)                                                                                              | «4»<br>(хорошо)                                                                                                       | «5»<br>(отлично)                                                                                                                     |
| Посещение менее 50 % лекционных и практических занятий                                            | Посещение не менее 60 % лекционных и практических занятий                                                               | Посещение не менее 70 % лекционных и практических занятий                                                             | Посещение не менее 85 % лекционных и практических занятий                                                                            |
| Студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы | Студент поверхностно знает материал основных разделов и тем учебной дисциплины, допускает неточности в ответе на вопрос | Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос. | Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос |
| Не умеет находить решения большинства предусмотренных программой обучения заданий                 | Иногда находит решения предусмотренных программой обучения заданий                                                      | Уверенно находит решения предусмотренных программой обучения заданий                                                  | Безошибочно находит решения предусмотренных программой обучения заданий                                                              |
| Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено                              | Предусмотренные программой обучения задания выполнены удовлетворительно                                                 | Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены                                                         | Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены                                                                        |

#### *Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:*

| Количество правильных ответов, % | Оценка              |
|----------------------------------|---------------------|
| 0-50                             | Неудовлетворительно |
| 51-65                            | Удовлетворительно   |
| 66-85                            | Хорошо              |
| 86-100                           | Отлично             |

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Рекомендуемая литература

#### 7.1.1 Основная литература

1. Солонин, В.И. Ядерные реакторные установки / В.И. Солонин ; Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. - Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. - 88 с.  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=340457>
2. Лебедев, В.А. Ядерные энергетические установки [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Лебедев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 192 с.  
<https://e.lanbook.com/book/67466>.
3. Едчик, И.А. Физико-технические основы ядерной энергетики : монография / И.А. Едчик ; Национальная академия наук Беларуси, Объединенный институт

энергетических и ядерных исследований - Сосны. - Минск : Беларуская навука, 2017. - 177 с.

<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=484069>

### 7.1.2. Дополнительная литература

1. Ядерные энергетические установки [Текст] : учеб.-метод. комплекс / сост. Н. Н. Панферов. - СПб. : Изд-во СЗТУ, 2008. - 113 с., 91 экз. в библиот. СПГУ.
2. Ядерные энергетические установки [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. А. Лебедев. - СПб. : Горн. ун-т, 2013. - 180 с  
[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=%2D839963<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%2D839963<.>)
3. Ядерные энергетические установки [Текст] : учеб. для вузов / И. Н. Нигматулин, Б. И. Нигматулин. - М. : Энергоатомиздат, 1986. - 166, [1] с., 15 экз. в библиот. СПГУ.

### 7.1.3. Учебно-методическое обеспечение

1. Лебедев, В.А. Ядерные энергетические установки [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Лебедев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 192 с.  
<https://e.lanbook.com/book/67466>.
2. Ядерные энергетические установки: методические указания к практическим занятиям для студентов магистратуры направления 13.04.01 [электронный ресурс], СПГУ, 2018 г.
3. Ядерные энергетические установки: методические указания для выполнения курсовой работы для студентов магистратуры направления 13.04.01 [электронный ресурс], СПГУ, 2018 г.

## 7.2. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Европейская цифровая библиотека Europeana: <http://www.europeana.eu/portal>
2. Информационно-аналитический центр «Минерал» - <http://www.mineral.ru/>
3. КонсультантПлюс: справочно - поисковая система [Электронный ресурс]. - [www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/).
4. Мировая цифровая библиотека: <http://wdl.org/ru>
5. Научная электронная библиотека «Scopus» <https://www.scopus.com>
6. Научная электронная библиотека ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>
7. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru/>  
<https://e.lanbook.com/books>.
8. Поисковые системы Yandex, Rambler, Yahoo и др.
9. Система ГАРАНТ: электронный периодический справочник [Электронный ресурс] [www.garant.ru/](http://www.garant.ru/).
10. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»
11. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ):
12. Электронная библиотека учебников: <http://studentam.net>
13. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru).
14. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Руконт»». <http://rucont.ru/>
15. Электронно-библиотечная система <http://www.sciteclibrary.ru/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Материально-техническое оснащение аудиторий:**

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа, практических занятий, оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

#### **8.1.1 Аудитории для проведения лекционных занятий**

Лекционная аудитория №1244: мультимедийный проектор – 1 шт.; столы – 45 шт.; стулья – 92 шт.; АРМ преподавателя ПК (системный блок, монитор) – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»); лабораторное оборудование – 6 шт.

Компьютерный класс №1232: Комплект мультимедийной аудитории Тип 2 (доступ к сети «Интернет») – 1шт; столы компьютерные – 16 шт., стол – 2 шт.; стулья – 28 шт. Компьютер для студентов - 18 шт. (возможность подключения к сети «Интернет»), принтер – 1 шт.

Специализированные аудитории оснащены лицензионным программным обеспечением:

1. Microsoft Windows XP Professional: Microsoft Open License 16020041 от 23.01.2003; Microsoft Open License 16581753 от 03.07.2003; Microsoft Open License 16396212 от 15.05.2003; Microsoft Open License 16735777 от 22.08.2003; ГК № 797-09/09 от 14.09.09 "На поставку компьютерного оборудования"; ГК № 1200-12/09 от 10.12.09 "На поставку компьютерного оборудования"; ГК № 1246-12/08 от 18.12.08 "На поставку компьютерного оборудования и программного обеспечения"; ГК № 1196-12/08 от 02.12.2008 "На поставку программного обеспечения" Microsoft Open License 45369730 от 16.04.2009;
2. Microsoft Office 2007: Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007 (обслуживание до 2020 года);
3. MapInfo Professional: ГК №1142912/09 от 04.12.2009 "На поставку программного обеспечения" (обслуживание до 2020 года);
4. Autodesk: product: Duiliding Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766Н1

### **8.2. Помещения для самостоятельной работы:**

1. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional: ГК № 1464-12/10 от 15.12.10 «На поставку компьютерного оборудования» ГК № 959-09/10 от 22.09.10 «На поставку компьютерной техники» (обслуживание до 2020 года) ГК № 447-06/11 от 06.06.11 «На поставку оборудования» (обслуживание до 2020 года) ГК № 984-12/11 от 14.12.11 «На поставку оборудования» (обслуживание до 2020 года) Договор № 1105-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования» (обслуживание до 2020 года), Договор № 1106-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования» (обслуживание до 2020 года) ГК № 671-08/12 от 20.08.2012 «На поставку продукции» (обслуживание до 2020 года), Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011, Microsoft Open License 49487710 от 20.12.2011, Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 (обслуживание до 2020 года),

Microsoft Office 2010 Standard: Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012 (обслуживание до 2020 года), Microsoft Open License 60853086 от 31.08.2012 (обслуживание до 2020 года)

Kaspersky antivirus 6.0.4.142

2. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 17 посадочных мест. Доска для письма маркером – 1 шт., рабочие места студентов, оборудованные ПК с доступом в сеть университета – 17 шт., мультимедийный проектор – 1 шт., АРМ преподавателя для работы с

мультимедиа – 1 шт. (системный блок, мониторы – 2 шт.), стол – 18 шт., стул – 18 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Операционная система Microsoft Windows XP Professional ГК №797-09/09 от 14.09.09 «На поставку компьютерного оборудования».

Операционная система Microsoft Windows 7 Professional Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 (обслуживание до 2020 года).

Microsoft Office 2007 Standard Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007 (обслуживание до 2020 года)

3. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 16 посадочных мест. Стол компьютерный для студентов (тип 4) - 3 шт., стол компьютерный для студентов (тип 6) – 2 шт., стол компьютерный для студентов (тип 7) – 1 шт., кресло преподавателя (сетка, цвет черный) – 17 шт., доска напольная мобильная белая магнитно-маркерная «Magnetoplan» 1800мм×1200мм - 1 шт., моноблок Lenovo M93Z Intel Q87 – 17 шт., плакат – 5 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional: Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 (обслуживание до 2020 года).

Microsoft Office 2007 Professional Plus: Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010 (обслуживание до 2020 года).

CorelDRAW Graphics Suite X5 Договор №559-06/10 от 15.06.2010 «На поставку программного обеспечения» (обслуживание до 2020 года)

Autodesk product: Building Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766H1

Cisco Packet Tracer 7.1 (свободно распространяемое ПО), Quantum GIS (свободно распространяемое ПО), Python (свободно распространяемое ПО), R (свободно распространяемое ПО), Rstudio (свободно распространяемое ПО), SMath Studio (свободно распространяемое ПО), GNU Octave (свободно распространяемое ПО), Scilab (свободно распространяемое ПО)

### **8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования:**

#### **1. Центр новых информационных технологий и средств обучения:**

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2010 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

#### **2. Центр новых информационных технологий и средств обучения:**

Оснащенность: стол – 5 шт., стул – 2 шт., кресло – 2 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 2 шт., МФУ – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., шуруповерт – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

3. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 2 шт., стул – 4 шт., кресло – 1 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 1 шт. (доступ к сети «Интернет»), веб-камера Logitech HD C510 – 1 шт., колонки Logitech – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., дрель – 1 шт., телефон – 1 шт., набор ручных инструментов – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011)

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

**8.4. Лицензионное программное обеспечение:**

1. Microsoft Windows 8 Professional (договор бессрочный ГК № 875-09/13 от 30.09.2013 «На поставку компьютерной техники»)

2. Microsoft Office 2007 Standard (договор бессрочный Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007)

3. Microsoft Office 2010 Professional Plus (договор бессрочный Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, договор бессрочный Microsoft Open License 47665577 от 10.11.2010, договор бессрочный Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011)