МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ядерной физики и технологий

Утверждено на заседании
УМС ИАТЭ НИЯУ МИФИ
Протокол № 25.8 от 25.08.2025

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Ядерный топливный цикл

название дисциплины

для направления подготовки

12.04.01 Приборостроение

код и название направления подготовки

образовательная программа

Неразрушающий контроль, техническая диагностика оборудования и компьютерная поддержка оператора АЭС

Форма обучения: очная

г. Обнинск 2026 г.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель изучения дисциплины:

- формирование у студентов знаний теоретических основ технологии ядерного топливного цикла,
- формирование у студентов знаний основных физических и технических особенностей ядерного топливного цикла;
- понимание принципов обеспечения безопасности эксплуатации ЯЭУ;
- формирование знаний устройств и конструкций ядерных энергетических реакторов различного типа, условий выбора конструкционных материалов, теплоносителей, компоновочных и теплофизических характеристик различных типов ядерных энергетических реакторов.

2. ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Задачи изучения дисциплины:

- изучение физических основ технологии ядерного топливного цикла;
- изучение физических основ и конструкторских решений безопасной эксплуатации ядерных реакторов;
- изучение условий выбора конструкционных материалов, теплоносителей, компоновочных и теплофизических характеристик ядерных реакторов различных типов;
- изучение конструкций ядерных реакторов различных типов;
- изучение особенностей и технических решений перспективных проектов атомной энергетики.

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ (далее – ОП) МАГИСТРАТУРЫ

«Ядерный топливный цикл» является дисциплиной по выбору. Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: общая физика, математический анализ, история.

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: ядерная физика, учебная практика.

Дисциплина изучается на 1 курсе в 2 семестре.

4. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В результате освоения ОП магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код компетенций	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для	**Знать:** методики сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа;

	решения поставленных задач	**Уметь:** применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников; **Владеть:** методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач.

5. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Вид работы	**Количество часов на вид работы по семестрам:**
	Всего
Контактная работа обучающихся с преподавателем	
Аудиторные занятия ***(всего)***	16
В том числе:	
лекции	-
практические занятия	16
лабораторные занятия	-
Промежуточная аттестация	
В том числе:	
зачет	
Самостоятельная работа обучающихся	20
Всего (часы):	36
Всего (зачетные единицы):	1

6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ

6.1. ***Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)***

№ п/п	**Наименование раздела /темы дисциплины**	**Виды учебной работы в часах** (вносятся данные по реализуемым формам)				
		Очная форма обучения				
		Лек	**Пр**	**Лаб**	**Внеауд**	**СРО**
1	Ядерная энергетика как незаменимый ресурс энергоснабжения планеты		1			2
2	Основы ядерной физики ядерных технологий для выработки электроэнергии.					
2.1.	Деление атомных ядер нейтронами. Продукты деления. Особенности продуктов деления.		1			1

2.2	Огромная энергия, выделяемая на деление - обоснование практического применения деления для выработки электроэнергии.		1			2
2.3	Производство нейтронов как побочный продукт ядерного деления - главная возможность самоподдерживающейся цепной реакции ядерного деления нейтронами.		1			1
2.4	Появление вторичных нейтронов из осколков деления - возможность контролируемой самоподдерживающей цепной реакции ядерного деления.		1			1
2.5	Огромная радиоактивность осколков деления - одно из непреодолимых свойств, связанных с ядерными технологиями.		1			1
3	Основы ядерной физики ядерных технологий для выработки электроэнергии.					
3.1	Делящиеся и сырьевые ядра. Скорость ядерных реакций (плотность нейтронного потока, микроскопическое поперечное сечение, плотность ядер).		2			2
3.2	Характеристики реакции цепного деления - эффективный коэффициент размножения нейтронов и реактивность. Простейшие выражения для оценки.		1			1
3.3	Понятие критической массы и критических размеров. Необходимость обеспечения избыточной реактивности.		1			1
4	Качественные и количественные характеристики ядерного топлива.					
4.1	Какие типы ядерного топлива в настоящее время используются АЭС и в каких количествах? Обогащение урана.		1			2
4.2	Ресурсы урана и необходимость разведения делящихся ядер.		1			1
5	Технические решения, принятые при использовании ядерной энергии для исключения утечки радиоактивных продуктов из-под контроля					
5.1	Технические решения для теплоотвода с учетом необходимости достижения высокой мощности.		1			2
5.2	Предохранительные барьеры и авария на основе конструкции.		1			1
5.3	Человеческий фактор		1			1
6	Ядерная энергетика сегодня (мощности, потенциал развития, типы реакторов)		1			1
	Итого за семестр:		**16**			**20**

Прим.: Лек – лекции, Пр – практические занятия / семинары, Лаб – лабораторные занятия, Внеауд – внеаудиторная контактная работа, СРО – самостоятельная работа.

6.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

Практические занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание

1.	Ядерная энергетика как незаменимый ресурс энергоснабжения планеты	90% спроса на энергию покрывается ископаемым топливом (14 миллиардов тонн эквивалента мазута). Спрос на энергию будет расти в течение следующих 100 лет в десять раз (из-за роста населения и развития развивающихся стран). Ресурсы ископаемого топлива вместе с атомной энергетикой и возобновляемыми энергетическими ресурсами обеспечат охват энергетического спроса на планету около 70 лет. Ядерная энергия сможет обеспечить планету энергией в течение тысячелетий при условии размножения ядерного топлива. Потенциал использования солнечной энергии неограничен, однако до сих пор эта технология оказалась значительно более дорогой.
2	Основы ядерной физики ядерных технологий для выработки электроэнергии.	
2.1.	Деление атомных ядер нейтронами. Продукты деления. Особенности продуктов деления.	Деление ядер типа A на нейтроны в модели составного ядра проходит через следующие фазы. Формирование ядра A + 1 в возбужденном состоянии с энергией связи Вп + Еп. Для того чтобы акт ядерного деления был реализован, необходимо иметь энергию возбуждения, превышающую барьер деления. Примечательно, что энергия возбуждения для четно-четных ядер превышает энергию возбуждения для нечетно-четных и четных нечетных ядер почти на 1 МэВ. Поэтому четно-нечетные и нечетно-четные ядра, как правило, делятся нейтронами всех энергий, тогда как для четно-четных ядер существует пороговая энергия нейтронов, необходимых для инициирования ядерного деления. Приводится таблица суммирующих характеристик всех продуктов деления с необходимыми комментариями.
2.2	Огромная энергия, выделяемая на деление - обоснование практического применения деления для выработки электроэнергии.	Осколки деления являются носителями основной массы кинетической энергии, выделяющейся при делении ядер (165 МэВ 200 МэВ). В качестве конечного результата они депонируют свою энергию, увеличивая температуру окружающей среды. Огромная энергия, выделяемая за один акт деления (в десятки миллионов раз выше, чем энергия окисления атомов углеводов и органических молекул) связана с изменением энергий связи нуклонов в тяжелом ядре и осколках деления. Демонстрация фигуры: зависимость энергии связи нуклонов от атомной массы. Именно эта энергия обеспечила практическое применение ядерных технологий для выработки тепловой и электрической энергии.
2.3	Производство нейтронов как побочный продукт ядерного деления - главная возможность самоподдерживающейся цепной реакции ядерного деления нейтронами.	В ядерном делении образуются быстрые нейтроны деления со средними энергиями около 2 МэВ и числами, равными 2,5-3 нейтронам на акт деления. Самостоятельная цепная реакция деления может быть достигнута при определенных условиях (необходимое количество делящихся ядер и оптимальная корреляция между количествами делящихся ядер и ядер хладагента, замедлителя и структур) и может приводить к энергии в равновесных условиях. Быстрое время жизни нейтронов. Возможность очень быстрого отключения мощности реактора (график, показывающий взаимозависимость между периодом реактора и реакционной способностью).
2.4	Появление вторичных	Малая доля нейтронов возникает из осколков деления в

	нейтронов из осколков деления - возможность контролируемой самоподдерживающей цепной реакции ядерного деления.	результате радиоактивных превращений. Среднее время жизни этих нейтронов с момента деления ядер до их исчезновения на несколько порядков больше, чем для быстрых нейтронов. Доля замедленных нейтронов составляет от доли до 1,5%. Поэтому среднее время жизни для всех нейтронов будет значительно больше и будет зависеть от реакционной способности реактора. Демонстрация фигуры: зависимость между периодом реактора и реакционной реактивностью.
2.5	Огромная радиоактивность осколков деления - одно из непреодолимых свойств, связанных с ядерными технологиями.	При наличии определенных корреляций между числом нейтронов и протонами в ядре существуют стабильные ядра. Это объясняется действием двух конкурирующих сил - кулоновских и ядерных сил. Стабильные ядра существуют только с $Z < 83$. Среди тяжелых ядер существуют ядра с периодами полураспада, сопоставимыми со временем существования Вселенной. Число нейтронов в этих ядрах превышает число протонов в полтора раза. Эти отношения меньше для стабильных осколков деления (1.2 - 1.4), и поэтому доля нестабильных осколков деления с периодами полураспада менее ста лет высока, что приводит к огромной радиоактивности осколков деления по сравнению с фракцией расщепляющихся ядра. Демонстрация рисунка, показывающего зависимость стабильных ядер в координатах Z и (A-Z) и площадь, занимаемую осколками деления.
3	Основы ядерной физики ядерных технологий для выработки электроэнергии.	
3.1	Делящиеся и сырьевые ядра. Скорость ядерных реакций (плотность нейтронного потока, микроскопическое поперечное сечение, плотность ядер).	Откуда приходит топливо для загрузки ядерных реакторов? В природе есть уран (два изотопа). Определение плотности потока нейтронов и двух возможных вариантов его: спектр нейтронов и одногрупповое приближение. Определение микроскопического сечения (демонстрация фигур, показывающих энергетические зависимости поперечных сечений). Скорости реакции - трехфакторная формула. Типичные значения микроскопических сечений, плотности ядер, плотности потока нейтронов. Определение делящихся и плодородных ядер. Демонстрация графика, показывающего энергетическую зависимость $\nu_{eff} = \nu / (1 + \alpha)$.
3.2	Характеристики реакции цепного деления - эффективный коэффициент размножения нейтронов и реактивность. Простейшие выражения для оценки.	Определение эффективного коэффициента размножения нейтронов и реактивности, их предельных значений, простейших формул для оценки критических параметров для бесконечных протяженных сред. Таблица индикативных значений для двух основных вариантов ядерного реактора - с замедлителем и без него. Четырехфакторная формула.
3.3	Понятие критической массы и критических размеров. Необходимость обеспечения избыточной реактивности.	Значения характеристик процесса цепного деления, представленные выше, относятся к бесконечно протяженной среде и, следовательно, к бесконечным массам расщепляющихся и других материалов. В случае конечных размеров среды будет потеря нейтронов, выходящих из ядра реактора, что будет по существу равно увеличению поглощения нейтронов. Количество нейтронов, рожденных в ядерном реакторе, пропорционально объему активной зоны реактора, а потери нейтронов пропорциональны

		поверхности ядра реактора и средней длине нейтронного пролета в рассматриваемой перерабатывающей среде. Поэтому для данного состава размножающей среды допустимо обсудить критическую массу данного состава и критический радиус, которые возможны только в случае, когда k_{oo} >1.
4	Качественные и количественные характеристики ядерного топлива.	
4.1	Какие типы ядерного топлива в настоящее время используются АЭС и в каких количествах? Обогащение урана.	Давайте познакомимся с топливом для атомных электростанций различной мощности. Нагрузка топливного реактора составляет около 75 тонн для тепловой мощности, равной примерно 3000 МВт. Топливо представляет собой диоксид урана с плотностью около 10 г / см3 и обогащением, равным 3-5%, что в несколько раз превышает долю урана-235 в природном уране (0,71%). Обогащение (изменение отношений между фракциями изотопов) возможно из-за разницы масс изотопов и из-за соотношения между зарядом и массой изотопов. Во всех случаях уран превращается в газ UF6, и из-за разницы между массами изотопов они могут быть разделены путем пропускания газа через мембраны с помощью микроскопических отверстий (метод газовой диффузии) или путем прокачки их через очень быстро вращающиеся цилиндры (метод газовой центрифуги). После прохождения газа через разность потенциалов его можно направлять в равномерное поперечное магнитное поле. Траектории частиц газа будут иметь форму круговых траекторий с разными радиусами. В качестве вывода приведена таблица, показывающая стоимость обогащенного и природного урана.
4.2	Ресурсы урана и необходимость разведения делящихся ядер.	Ресурсы урана составляют 7,5 млн. Тонн, что позволяет поставлять ядерные энергетические реакторы существующей мощности в течение 75 лет. Возможность преобразования урана-238 в делящийся плутоний-239-нуклид в результате захвата нейтронов ядром урана и двух последующих бета-распадов была понята уже в 1940-х годах. Необходимы быстрые ядерные реакторы и внедрение замкнутого топливного цикла для достижения размножения расщепляющихся материалов. Дополнение ядерного топлива на полторы тонны в год потребуется для ядерного реактора мощностью до 3000 МВт (т), то есть существующих ресурсов урана будет достаточно для эксплуатации ядерных энергетических мощностей в течение тысяч лет.
5	Технические решения, принятые при использовании ядерной энергии для исключения утечки радиоактивных продуктов из-под контроля	
5.1	Технические решения для теплоотвода с учетом необходимости достижения высокой мощности.	Проектирование всех существующих ядерных энергетических реакторов сконфигурировано в виде топливных штырей, содержащих ядерное топливо, вымытое охладителем реактора. Это связано со следующими двумя причинами: огромная энергия, выделяемая на ядерное деление и огромная радиоактивность осколков деления и новорожденных тяжелых ядер. Проведем оценку возможности удаления тепла и поддержания температуры топлива внутри топливного штыря. Таблица суммирующих характеристик топлива и хладагента для легкой воды и

		быстрых реакторов дает возможность обсудить предельные температуры, коэффициенты теплопередачи и скорости потока охлаждающей жидкости.
5.2	Предохранительные барьеры и авария на основе конструкции.	Защитные барьеры означают выбор такой конструкции и таких материалов, которые позволят свести к минимуму выход радиоактивных продуктов, выходящих из ядерного реактора при нормальной работе реактора и в чрезвычайных ситуациях. Для этой цели выбраны топливо с высокой температурой плавления и малыми значениями параметров диффузии и оболочкой топлива, устойчивой к высоким температурам и химическим взаимодействиям. Для смягчения последствий аварий разработаны сценарии аварий, которые необходимо изучить в конструкции реактора и меры по минимизации опасных последствий. К ним относятся несчастные случаи с потерей электропитания для покрытия потребностей завода, снижение расхода охлаждающей жидкости, потеря охлаждающей жидкости и аварий с введением реактивности в реакторе. Эти аварии, как правило, связаны с нейтронными свойствами ядерных технологий (остаточное тепловыделение, невозможность сжечь все топливо, загруженное в ядро реактора, невозможность мгновенного сброса мощности реактора).
5.3	Человеческий фактор.	Дается понимание влияния человека (человеческого фактора) на безопасность и приемлемость разработанных технологий не только на уровне контроля над ядерным энергогенерирующим устройством (например, нарушение правил эксплуатации), но и на всех фазы от первоначальной идеи до ее реализации в производстве. Приводятся примеры проектных усилий, позволяющих ситуации, когда нарушение эксплуатационных правил приводит к катастрофическим последствиям. Примеры приведены, когда, например, парогенераторы не срабатывают на начальных этапах работы, когда топливные штыри выходят из строя, и это приводит к необходимости снижения уровня мощности или уменьшения времени пребывания топлива в ядре и т. Д.
6	Ядерная энергетика сегодня (мощности, потенциал развития, типы реакторов)	Приводятся данные, иллюстрирующие нынешний статус производства ядерной энергии, совместные международные усилия по разработке проектов передовых ядерных энергетических установок. Прогнозы анализируются на развитие производства ядерной энергии, и им противостоят аналогичные прогнозы 30 лет назад.

7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Посещение лекционных занятий и конспектирование рассматриваемых на них материалов является недостаточным условием для усвоения необходимых знаний по предмету. Каждый студент должен индивидуально готовиться по темам дисциплины, читая конспекты лекций и рекомендуемую литературу, заучивая базовые определения, классификации, схемы и типологии. Самостоятельная работа позволяет студенту в спокойной обстановке подумать, разобраться с информацией по теме, при необходимости обратиться к справочной литературе.

Внимательное чтение и повторение прочитанного помогает в полном объеме усвоить содержание темы, структурировать знания.

Чтобы содержательная информация по дисциплине запоминалась надолго, целесообразно изучать ее поэтапно - по темам и в строгой последовательности, поскольку последующие темы, как правило, опираются на предыдущие. Именно поэтому большая часть самостоятельной работы приурочена к практическим занятиям. При подготовке к семинарам целесообразно прочитать материал изучаемой темы, попытавшись разобраться со всеми теоретическими положениями и примерами. Если возникли трудности, обратиться за помощью к учебной, справочной литературе или к преподавателю за консультацией.

Для получения более глубоких и устойчивых знаний студентам рекомендуется изучать дополнительную литературу, список которой приведен в рабочей программе дисциплины.

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы: поисковые сайты, базы данных химических соединений, электронные библиотеки.

8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

8.1. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка	Наименование оценочного средства
Текущий контроль, 2 семестр			
1.	Раздел 1,2,3	УК-1	Контрольная работа
2.	Раздел 4,5,6	УК-1	Контрольная работа
Промежуточный контроль, 2 семестр			
	Зачет	УК-1	Вопросы на зачет

8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении «Фонд оценочных средств».

8.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

- Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.
- Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.
- Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения

дисциплины.

- Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:
  - контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
  - контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.
- Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	**Неделя**	**Балл**	
		Минимум*	Максимум**
Текущая аттестация	**1-16**	**36 - 60% от максимума**	**60**
Контрольная точка № 1	**7-8**	**18 (60% от 30)**	**30**
Контрольная работа	1-6	60% от М1	М1
Контрольная точка № 2	**15-16**	**18 (60% от 30)**	**30**
Контрольная работа	15-16	60% от Т1	Т1
Промежуточная аттестация	**-**	**24 – (60% 40)**	**40**
Зачет	-	60% от КР	КР
ИТОГО по дисциплине		**60**	**100**

8.4. Шкала оценки образовательных достижений

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных обучающимся при выполнении заданий в рамках текущей и промежуточной аттестации

Сумма баллов	***Оценка по 4-х балльной шкале***	***Оценка ECTS***	***Требования к уровню освоения учебной дисциплины***
90-100	*5- «отлично»/ «зачтено»*	A	Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы
85-89	4 - *«хорошо»/ «зачтено»*	B	Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
70-84		C	

65-69	*3 - «удовлетворительно»/ «зачтено»*	D	Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала
60-64		*E*	
0-59	2 - *«неудовлетворительно»/ «не зачтено»*	*F*	Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

а) основная учебная литература:

1. 1. Барсуков О. А. Основы физики атомного ядра. Ядерные технологии : монография / О. А. Барсуков. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 560 с. : ил. - (Фундаментальная и прикладная физика) (1 экз.)
2. 2. Ядерные технологии : учеб. пособие для студ. вузов/ В. А. Апсэ [и др.]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : НИЯУ МИФИ , 2013. - 127 с. : ил. (36 экз.)
3. 3. Ядерные технологии: история, состояние, перспективы: учебн. пособие для студ. вузов / А. А. Андрианов [и др.]. - М. : НИЯУ МИФИ , 2012. - 180 с. : ил. (135 экз.)

10. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» (ДАЛЕЕ - СЕТЬ «ИНТЕРНЕТ»), НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [Электронный ресурс] URL: http://elibrary.ru (Дата обращения: 10.05.2020).

2.Электронно-библиотечная система издательство "Лань": [Электронный ресурс] URL: www.e.lanbook.com (Дата обращения: 10.05.2020).

3.Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ": [Электронный ресурс] URL: www.library.mephi.ru (Дата обращения: 10.05.2020).

4.E-learning for Nuclear Newcomers [Электронный ресурс] URL: https://www.iaea.org/topics/infrastructure-development/e-learning-for-nuclear-newcomers (Дата обращения: 10.05.2020).

5.Росатом [Электронный ресурс] URL:http://www.rosatom.ru (Дата обращения: 10.05.2020).

12. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)

Использование информационных технологий при осуществлении образовательного процесса по дисциплине осуществляется в соответствии с утвержденным Положением об Электронной информационно-образовательной среде ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

12.1. Перечень информационных технологий

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационные технологии:

- проведение лекций и практических занятийс использованием слайд-презентаций;
- использование обучающих видеофильмов;
- использование текстового редактора Microsoft Word;
- использование табличного редактора Microsoft Excel;
- использование текстового редактора NoteBook (Блокнот);
- использование компьютерного тестирования;
- организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты и ЭИОС.
- Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.
- Интерактивное общение с помощью программы skype, zoom, google meet.
- Использование электронных презентаций при проведении практических занятий. Использование слайд-презентаций при проведении лекционных занятий.

12.2. Перечень программного обеспечения

1. Текстовый редактор Microsoft Word;
2. Табличный редактор Microsoft Excel;
3. Редактор презентаций Microsoft PowerPoint;
4. Текстовый редактор NoteBook (Блокнот);
5. Браузеры: Google Chrome, Internet Explorer, Yandex, Mozilla Firefox, Opera.
6. Локальная компьютерная сеть и глобальная сеть Интернет.
7. Дистрибутив языков программирования Python и R – Anaconda
8. Инструмент Python–разработчика JetBrains PyCharm
9. Инструмент для анализа данных Jupyter Notebook

12.3. Перечень информационных справочных систем

Доступ к электронным библиотечным ресурсам и электронной библиотечной системе (ЭБС) осуществляется посредством специальных разделов на официальном сайте ИАТЭ НИЯУ МИФИ. Обеспечен доступ к электронным каталогам библиотеки ИАТЭ НИЯУ МИФИ, а также электронным образовательным ресурсам (ЭИОС), сформированным на основании прямых договоров с правообладателями учебной и учебно-методической литературы, методических пособий:

1) Информационные ресурсы Сети Консультант Плюс, www.consultant.ru (информация нормативно-правового характера на основе современных компьютерных и телекоммуникационных технологий);
2) Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ, http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe7C21COM=F&I21DBN=BOOK&Z21ID=&P21DBN=BOOK;
3) ЭБС «Издательства Лань», https://e.lanbook.com/;
4) Базы данных «Электронно-библиотечная система elibrary» (ЭБС elibrary);
5) Базы данных «Электронная библиотека технического ВУЗа» www.studentlibrary.ru;
6) Электронно-библиотечная система «Айбукс.ру/ibooks.ru»,
7) http://ibooks.ru/home.php?routine=bookshelf
8) Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ», http://urait.ru/.

13. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Для проведения практических занятий:

- аудитория, оснащенная компьютером, проектором для демонстрации презентаций, программное лицензионное обеспечение.

14. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И (ИЛИ) МАТЕРИАЛЫ

14.1. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки

Список вопросов для самостоятельной работы

1. Различия между делящимися и плодородными ядрами.
2. Изотопный состав природного урана.
3. Количество быстрых нейтронов, излучаемых за один акт ядерного деления.
4. Какова эффективная доля запаздывающих нейтронов и каковы ее значения.
5. Какова плотность потока нейтронов и его важность для ядерных энергетических реакторов?
6. Сколько энергии потребляется человечеством?
7. Каковы основные причины роста потребления энергоресурсов.
8. Каков состав источников энергоресурсов.
9. Эффективный коэффициент умножения.
10. Что такое реактивность?
11. Что такое запас реактивности?
12. Цель запаса реактивности и ее значения.
13. Каково максимальное значение эффективного коэффициента умножения?
14. Каковы предельные значения реактивности.
15. Каков запас реактивности реактора ВВЭР-1000?
16. Что такое открытый топливный цикл?
17. Что такое замкнутый топливный цикл?
18. Назовите несколько барьеров безопасности.
19. Назовите некоторые проектные аварии.
20. Причина остаточного тепловыделения.
21. Влияние остаточного тепловыделения.
22. Какова цель индивидуального обследования проектных аварий для каждого энергоблока?
23. Что такое обогащение урана и его значения для разных типов реакторов.

24. В чем разница между тепловыми и быстрыми ядерными реакторами.
25. Сколько энергоблоков атомных электростанций находится в стадии строительства.
26. Сколько энергоблоков атомных электростанций находится в эксплуатации.
27. Какие ядерные реакторы для атомных электростанций находятся в эксплуатации.

1. Мировое потребление энергии. Состав источников энергии и их ресурсов. Обоснование роста потребления энергии в течение ближайших нескольких сотен лет.
2. Солнечные технологии производства электроэнергии. Ресурсы. Причины очень низкого использования этих ресурсов.
3. Продвинутые ядерные технологии для производства электроэнергии с размножением делящихся ядер.
4. Ядерное деление и радиационный захват. Последствия этих реакций, их влияние на характеристики цепной реакции деления.
5. Характеристика размножающейся среды и условия для реализации самоокупающейся реакции деления.
6. Радиоактивность отработанного ядерного топлива. Причины очень высокой удельной радиоактивности осколков деления. Необходимость изоляции радиоактивности от окружающей среды. Защитные барьеры.
7. Остаточное тепловыделение. Причины. Аварии с потерей электроснабжения. Методы исключения катастрофических последствий.
8. Невозможность полного сжигания топлива, загруженного в ядро реактора. Необходимость запаса реактивности. Методы компенсации избыточной реактивности.
9. Потеря охлаждающей жидкости. Оценка времени после потери хладагента до таяния топлива. Методы устранения катастрофических последствий.
10. Обогащение урана. Его необходимость. Существующие технологии обогащения топлива (краткое описание). Влияние обогащения топлива на стоимость топлива.
11. Предохранительные барьеры. Их необходимость. Техническая реализация.
12. Технические решения для отвода тепла от топлива. Взаимно противоречивые требования к размерам топливных штырей и толщинам оболочки. Воздействие характеристик расхода охлаждающей жидкости и теплоносителя.
13. Ресурсы урана и время до их истощения в зависимости от выбранных типов ядерных реакторов и сценариев топливного цикла.
14. Ядерное деление, продукты деления. Критическое исследование характеристик продуктов деления. Влияние характеристик продукта деления на состав и конструкцию ядерного реактора и атомной электростанции в целом.
15. Ядерная энергетика сегодня. Потенциал развития. Отдельные типы ядерных реакторов для реализации совместного межгосударственного обоснования характеристик этих реакторов.

15. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. № АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации обучающихся с ОВЗ с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом индивидуальных психофизических особенностей, а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида.

Для лиц с нарушением слуха возможно предоставление информации визуально (краткий конспект лекций, основная и дополнительная литература), на лекционных и практических занятиях допускается присутствие ассистента, а также, сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Оценка знаний обучающихся на практических занятиях осуществляется на основе письменных конспектов ответов на вопросы, письменно выполненных практических заданий.
Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.)
С учетом состояния здоровья просмотр кинофильма с последующим анализом может быть проведен дома (например, при необходимости дополнительной звукоусиливающей аппаратуры (наушники)). В таком случае обучающийся предоставляет письменный анализ, соответствующий предъявляемым требованиям.

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости, время подготовки на зачете может быть увеличено.

Для **лиц с нарушением зрения** допускается аудиальное предоставление информации (например, с использованием программ-синтезаторов речи), а также использование на лекциях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь.
Оценка знаний обучающихся на практических занятиях осуществляется в устной форме (как ответы на вопросы, так и практические задания). При необходимости анализа фильма может быть заменен описанием ситуации межэтнического взаимодействия (на основе опыта респондента, художественной литературы и т.д.), позволяющим оценить степень сформированности навыков владения методами анализа и выявления специфики функционирования и развития психики, позволяющими учитывать влияние этнических факторов. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

Лица с нарушениями опорно-двигательного аппарата не нуждаются в особых формах предоставления учебных материалов. Однако, с учетом состояния здоровья часть занятий может быть реализована дистанционно (при помощи сети «Интернет»). Так, при невозможности посещения лекционного занятия обучающийся может воспользоваться кратким конспектом лекции.

При невозможности посещения практического занятия обучающийся должен предоставить письменный конспект ответов на вопросы, письменно выполненное практическое задание.
Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.).

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата проводится на общих основаниях, при необходимости процедура зачета может быть реализована дистанционно (например, при помощи программы Skype).

Для этого по договоренности с преподавателем обучающийся в определенное время выходит на связь для проведения процедуры зачета. В таком случае зачет сдается в виде собеседования по вопросам (см. формы проведения промежуточной аттестации для лиц с нарушениями зрения). Вопрос и практическое задание выбираются самим преподавателем.

Примечание: Фонды оценочных средств, включающие типовые задания и методы оценки, критерии оценивания, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины обучающимися с ОВЗ могут входить в состав РПД на правах отдельного документа

Программу составили:

доцент отд. ЯФиТ, к.т.н., П.А. Белоусов
старший преподаватель отд. ЯФиТ, Д.А. Распопов

Рецензент:

д.н, профессор отд. ЯФиТ, Ю.А. Казанский