

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕПЛОФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И СБОРКИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
3	3	108	16	32	0		60	0	30
Итого	3	108	16	32	0	0	60	0	

## АННОТАЦИЯ

Целями дисциплины является ознакомление студентов с основными физико - химическими процессами на разных этапах ядерного топливного цикла.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями дисциплины является ознакомление студентов с основными физико - химическими процессами на разных этапах ядерного топливного цикла. Обучение студентов умениям применять полученные знания в производственной и научной деятельности, приобретение навыков работы с научной, справочной и электронной литературой, применению современных компьютерных технологий при подготовке домашних заданий

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина посвящена подготовке студентов к решению инженерных задач расчета ядерных энергетических установок на основе строгих научных методов. Знания, полученные студентами при изучении различных дисциплин, применяются к решению задач, характерных для расчета ядерных энергетических установок

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения	ПК-2.3 [1] - Способен рассчитывать и измерять физические характеристики ядерных энергетических установок, проводить гидродинамические и тепловые расчеты в сложных системах	З-ПК-2.3[1] - Знать основные законы физических процессов протекающих в ядерных энергетических установках; У-ПК-2.3[1] - Уметь проводить гидродинамические и

<p>физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.</p>	<p>их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p>	<p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>тепловые расчеты в сложных системах; В-ПК-2.3[1] - Владеть методами измерения физических характеристик ядерных энергетических установок</p>
<p>исследования,</p>	<p>атомное ядро,</p>	<p>ПК-7 [1] - способен</p>	<p>З-ПК-7[1] - знать</p>

<p>разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропотекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.</p>	<p>элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы,</p>	<p>использовать и оценивать современные достижения науки и техники для решения профессиональных задач в научно-исследовательской деятельности</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>новые методы совершенствования действующих технологических процессов; ; У-ПК-7[1] - уметь анализировать информационные документы с результатами научных исследований;; В-ПК-7[1] - владеть современными пакетами прикладных компьютерных программ</p>
---	---	--	--

	экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстротекущих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов,	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в	ПК-8 [1] - способен владеть расчетно-теоретическими и экспериментальными методами исследования физических процессов, выполнять экспериментальные исследования и проводить обработку, анализ и обобщение полученных результатов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	3-ПК-8[1] - знать типовые методики и номенклатуру выполнения измерений и расчетов процессов; ; У-ПК-8[1] - уметь обрабатывать результаты измерений и анализировать результаты расчетов;; В-ПК-8[1] - владеть методами исследования физических процессов

систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
проектный			
исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих	ПК-3 [1] - способен владеть основами проектирования и конструирования оборудования  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-3[1] - знать основы компьютерных и информационных технологий ; У-ПК-3[1] - уметь работать с документацией по эксплуатации систем, оборудования, средств измерения, контроля, управления, автоматики, средств вычислительной техники; В-ПК-3[1] - владеть навыками оформления результатов проведенных измерений, расчетов и других работ при проектировании и конструировании оборудования

<p>объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.</p>	<p>излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p>		
производственно-технологический			
<p>исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстротекущих процессов,</p>	<p>атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного</p>	<p>ПК-9 [1] - способен владеть методами испытания основного оборудования энергетических установок, выполнения технико-экономических расчетов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>З-ПК-9[1] - знать технические характеристики оборудования, порядок ввода и вывода систем в работу; ; У-ПК-9[1] - уметь экономически эффективно эксплуатировать и контролировать техническое состояние оборудования; В-ПК-9[1] - владеть методами контроля, проверок и испытаний систем и навыками выявления неисправностей в</p>

<p>радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.</p>	<p>управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p>		<p>работе оборудования</p>
<p>исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области</p>	<p>атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения</p>	<p>ПК-10 [1] - способен разрабатывать практические рекомендации по использованию результатов научных исследований</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>З-ПК-10[1] - знать передовой отечественный и зарубежный опыт в области использования атомной энергии; ; У-ПК-10[1] - уметь анализировать информационные документы с</p>



<p>физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.</p>	<p>их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p>		<p>результатами научных исследований;; В-ПК-10[1] - владеть опытом разработки предложений по совершенствованию действующих процессов на основе передовых научных достижений</p>
---	--	--	---

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Прак- т. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>3 Семестр</i>						
1	Тепловыделяющие элементы и сборки ядерных реакторов	1-8	8/16/0		25	СК-12	3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
2	Основы проектирования ТВЭЛОВ и ТВС	9-16	8/16/0		25	СК-15	3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 3 Семестр</b>				50	30	3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3,

							3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
--	--	--	--	--	--	--	---

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
ЗО	Зачет с оценкой
СК	Семестровый контроль
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	16	32	0
<b>1-8</b>	<b>Тепловыделяющие элементы и сборки ядерных реакторов</b>	8	16	0
1	<b>Тема 1.</b> Ядерные топливные циклы (ЯТЦ).	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 3	<b>Тема 2.</b> Конструкционные материалы твэлов и ТВС.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 5	<b>Тема 3.</b> Основные физико-химические процессы в твэлах под действием облучения.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 7	<b>Тема 4.</b> Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

9-16	<b>Основы проектирования твэлов и ТВС</b>	8	16	0
8	<b>Тема 5.</b> Тепловыделяющие сборки.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
9 - 10	<b>Тема 6.</b> Основы проектирования твэлов и ТВС.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Тема 7.</b> Обоснование гидравлических характеристик ТВС.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Тема 8.</b> Особенности теплообмена в ТВС.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	<b>Тема 9.</b> Расчетные модели твэлов и ТВС.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Тема 10.</b> Обращение с облученными ТВС.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>3 Семестр</i>
1	<b>Ядерные топливные циклы (ЯТЦ).</b> Ядерное топливо. Стадии цикла. Замкнутый ядерный цикл в энергетике. Выгорание ядерного топлива. Требования, предъявляемые к ядерному топливу. Металлическое, оксидное, карбидное и нитридное ядерное топливо. Основные характеристики ядерных топливных материалов.
2 - 3	<b>Конструкционные материалы твэлов и ТВС.</b> Требования, предъявляемые к конструкционным материалам. Сплавы на основе циркония. Коррозионно-стойкие стали.

4 - 5	<b>Основные физико-химические процессы в твэлах под действием облучения.</b> Влияние облучения на механические и теплофизические свойства сплавов. Процессы в ядерном топливе. Процессы в оболочках твэлов. Коррозия на внешней и внутренней поверхности оболочки твэлов. Основные процессы в твэлах при аварийных ситуациях. Влияние реакторного облучения на характеристики твэлов.
6 - 7	<b>Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов.</b> Назначение тепловыделяющих элементов. Требования, предъявляемые к твэлам. Классификация твэлов. Твэлы контейнерного типа. Дисперсионные твэлы. Шаровые твэлы. Конструкции твэлов реакторов на тепловых нейтронах. Конструкции твэлов реакторов на быстрых нейтронах. Изготовление и контроль качества твэлов.
8	<b>Тепловыделяющие сборки.</b> Характерные условия эксплуатации и основные характеристики ТВС основных типов энергетических реакторов. ТВС реакторов ВВЭР, РБМК, БН, БРЕСТ, плавучего энергоблока.
9 - 10	<b>Основы проектирования твэлов и ТВС.</b> Приемочные критерии для твэлов. Критерии по герметичности, прочности, деформации, коррозии. Показатели теплотехнической надежности ТВС. Инженерные коэффициенты запаса.
11	<b>Обоснование гидравлических характеристик ТВС.</b> Гидравлическое профилирование активных зон. Определение расходов по ячейкам в ТВС. Модели пучка твэлов. Гидродинамика ТВС с гладкими и оребренными твэлами.
12	<b>Особенности теплообмена в ТВС.</b> Поле температуры в твэле. Максимально нагруженные ТВС и твэл. Изменение распределения температуры в твэле при выгорании. Расчет подогревов теплоносителя в ячейках.
13 - 14	<b>Расчетные модели твэлов и ТВС.</b> Расчетные модели теплогидравлических процессов, используемые при обосновании режимов нормальной эксплуатации. Модели для анализа аварийных ситуаций.
15	<b>Обращение с облученными ТВС.</b> Выдержка и хранение отработавших тепловыделяющих сборок на АЭС. Транспортировка облученных тепловыделяющих сборок Разделка ТВС и твэлов.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ОС НИЯУ МИФИ, курс реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (компьютерные практикумы, разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
-------------	---------------------	-----------------------------------

ПК-10	З-ПК-10	ЗО, СК-12, СК-15
	У-ПК-10	ЗО, СК-12, СК-15
	В-ПК-10	ЗО, СК-12, СК-15
ПК-2.3	З-ПК-2.3	ЗО, СК-12, СК-15
	У-ПК-2.3	ЗО, СК-12, СК-15
	В-ПК-2.3	ЗО, СК-12, СК-15
ПК-3	З-ПК-3	ЗО, СК-12, СК-15
	У-ПК-3	ЗО, СК-12, СК-15
	В-ПК-3	ЗО, СК-12, СК-15
ПК-7	З-ПК-7	ЗО, СК-12, СК-15
	У-ПК-7	ЗО, СК-12, СК-15
	В-ПК-7	ЗО, СК-12, СК-15
ПК-8	З-ПК-8	ЗО, СК-12, СК-15
	У-ПК-8	ЗО, СК-12, СК-15
	В-ПК-8	ЗО, СК-12, СК-15
ПК-9	З-ПК-9	ЗО, СК-12, СК-15
	У-ПК-9	ЗО, СК-12, СК-15
	В-ПК-9	ЗО, СК-12, СК-15

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, 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»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 –	F	Оценка «неудовлетворительно»

	«неудовлетворительно»		выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	-----------------------	--	--

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ N91 Nuclear Fuel Cycle Science and Engineering : , , : Elsevier, 2012
2. 621.039 В92 Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие, Выговский С.Б., Рябов Н.О., Чернов Е.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
3. ЭИ В92 Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие, Выговский С.Б., Рябов Н.О., Чернов Е.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
4. ЭИ Я49 Технологические процессы производства тепловой и электрической энергии на АЭС : учебное пособие для вузов, Пинчук М.Э., Якубенко И.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
5. ЭИ М20 Технология ТВЭЛов и ТВС ЯЭУ : , Малыгин В.Б., Москва: МИФИ, 2008
6. ЭИ С12 Физическая теория ядерных реакторов Ч.2 Теория возмущений и медленные нестационарные процессы, Савандер В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
7. ЭИ Н34 Физические основы безопасности ядерных реакторов : учебное пособие, Наумов В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
8. 621.039 Н34 Физические основы безопасности ядерных реакторов : учебное пособие, Наумов В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 О-23 Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами в атомной энергетике : учебное пособие для вузов, Куценко К.В. [и др.], Москва: МИФИ, 2007
2. 621.039 А77 Основы безопасного обращения с радиоактивными отходами : учеб. пособие для вузов, Шмелев А.Н., Апсэ В.А., М.: МИФИ, 2006
3. ЭИ М20 Проектирование ТВЭЛов и ТВС ЯЭУ : , Малыгин В.Б., Москва: МИФИ, 2008

4. 621.039 К60 Химическая переработка облученного ядерного топлива : учебное пособие, Колбягин Н.П., Яковлев Г.Н., Сергиевский В.В., Москва: МИФИ, 1991

5. 621.039 А77 Ядерные технологии : учебное пособие для вузов, Шмелев А.Н., Апсэ В.А., Москва: МИФИ, 2008

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. World-nuclear (<http://world-nuclear.org/>)
2. Росатом ([www.rosatom.ru](http://www.rosatom.ru))
3. Росэнергоатом (<http://www.rosenergoatom.ru>)
4. Урановый холдинг АРМЗ (<http://www.armz.ru>)
5. ТВЭЛ (<http://www.tvel.ru>)
6. Периодическая система (<http://www.periodictable.ru>)
7. ВЭБ элемент (<http://www.webelements.com>)

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Некоторые типичные задачи для семинарских занятий с решением и контрольные вопросы представлены в учебном пособии «Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами в атомной энергетике» Н.Н. Давиденко, К.В. Куценко, Г.В. Тихомиров, А.А. Лаврухин, И.:МИФИ, 2007 г. и в книге «Введение в ядерную энергетику» Дж. Коллиер, Дж. Хьюитт М.: Энергоатомиздат 1989 г.

Для решения некоторых задач необходимо уметь пользоваться прикладным математическим пакетом символьной математики (Mathcad, Mathematica). Для успешного освоения курса студент должен знать основы неорганической химии, ядерной физики и теории тепломассопереноса.

Вывод формулы для потенциала разделения и работы разделения приведен в учебном пособии «Ядерные технологии» В.А. Апсэ, А.Н. Шмелев, И.:МИФИ, 2001.-128 с.

### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**



Для успешного освоения материала студентами на лекциях и семинарах желательно выдавать раздаточный материал или подготовить презентации по основным технологическим схемам и установкам по переработке, транспортировке и хранению радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива.

НА ЧТО НЕОБХОДИМО ОБРАТИТЬ ВНИМАНИЕ:

### ЛЕКЦИИ

Необходимое внимание на лекциях нужно уделить нормативным документам и правилам ядерной и радиационной безопасности ПБЯ-06-00-96, ПБЯ-06-08-77, ПРБ-88, НРБ-99, НП-053-04.

Главное внимание должно быть уделено базовым принципам, заложенным в каждую технологию, описанию используемого оборудования и условиям технологических процессов.

Важно дать анализ значимости и сравнительный анализ каждой технологии для поддержания режима нераспространения ядерных материалов.

### СЕМИНАРСКИЕ ЗАНЯТИЯ

При изучении темы «Методы обогащения урана» необходимо уделить особое внимание физическим принципам разделения изотопов на примере двух основных технологий: газодиффузионной (метод газовой эффузии) и центрифужной технологии.

Некоторые задачи для семинарских занятий и контрольные вопросы представлены в учебном пособии «Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами в атомной энергетике» Н.Н. Давиденко, К.В. Куценко, Г.В. Тихомиров, А.А. Лаврухин, И.:МИФИ, 2007 г. и в книге «Введение в ядерную энергетику» Дж. Коллиер, Дж. Хьюитт М.: Энергоатомиздат 1989 г.

Вывод формулы для потенциала разделения и работы разделения приведен в учебном пособии «Ядерные технологии» В.А. Апсэ, А.Н. Шмелев, И.:МИФИ, 2001.-128 с.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПЕРПОДАВАТЕЛЯ

Дополнительную информацию по программам развития ядерной энергетики и ядерного топливного цикла также можно получить из следующих интернет-ресурсов:

<http://world-nuclear.org>

<http://www.rosatom.ru>

<http://www.rosenergoatom.ru>

<http://www.armz.ru>

<http://www.tvcl.ru>

<http://www.periodictable.ru>

<http://www.webelements.com>

Автор(ы):

Круглов Александр Борисович, к.ф.-м.н.

Рецензент(ы):

доцент Харитонов В.С., доцент Корсун А.С.