

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  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 28.08.2023 № 23.8

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Экономика ядерно-топливного цикла

*название дисциплины*

Специальность

**14.05.01 Ядерные реакторы и материалы**

Образовательная программа

**Ядерные реакторы**

*Шифр, название специализации*

Форма обучения: очная

г. Обнинск 2023 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цель изучения дисциплины:

- освоение студентами необходимого объема знаний по технологии и экономике производства и использования ядерного топлива, о структуре экономических затрат на всех стадиях ядерного топливного цикла (ЯТЦ), а также об особенностях экономики сооружения и эксплуатации ЯЭУ

### Задачи изучения дисциплины:

- Умение решать задачи по вопросам технологии и экономики ядерной энергетики, используя современные литературные первоисточники, включая зарубежные;
- Получение навыков оценки основных технико-экономических параметров ЯЭУ и организации их расчетов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ (далее – ОП) СПЕЦИАЛИТЕТА

Дисциплина реализуется в рамках части, формируемой участниками образовательных отношений и относится к профессиональному модулю (дисциплина по выбору).

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: математический анализ, линейная алгебра, теории вероятностей и математической статистики, экономика, методология и история ядерной энергетики

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: законодательная и нормативная база атомной энергетики.

Дисциплина изучается на 5 курсе в 10 семестре.

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

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

Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-5	Способен к проведению научно-исследовательских и опытно конструкторских работ по тематике организации и при исследовании самостоятельных тем	З-ПК-5 Знать порядок и методики выполнения научных исследований, правила оформления результатов научноисследовательских и опытноконструкторских работ У-ПК-5 Уметь проводить измерения и расчеты, обработку полученных данных В-ПК-5 Владеть методами интерпретации (анализа) и презентации полученных результатов
ПК-7	Способен к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов	З-ПК-7 Знать методику проведения предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов У-ПК-7 Уметь самостоятельно работать

		с отраслевыми техникоэкономическими стандартами В-ПК-7 Владеть навыками предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов
--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
<b>Интеллектуальное воспитание</b>	- формирование культуры умственного труда <b>(В11)</b>	Использование воспитательного потенциала дисциплин гуманитарного, естественнонаучного, общепрофессионального и профессионального модуля для формирования культуры умственного труда посредством вовлечения студентов в учебные исследовательские задания, курсовые работы и др.
<b>Профессиональное воспитание</b>	- формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия <b>(В17)</b>	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за научно-технические достижения России, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности за результаты исследований и их последствия, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечение в реальные научно-исследовательские проекты.
	- формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения <b>(В18)</b>	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
	- формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических решений,	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин, профессионального модуля для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания

<p>критического отношения к исследованиям лженаучного толка <b>(B19)</b></p>	<p>мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские курсовые проекты.</p> <p>2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</p>
<p>- формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства <b>(B20)</b>;  - формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения <b>(B21)</b>;  - формирование творческого инженерного мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности <b>(B22)</b></p>	<p>1. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепления рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</li> </ul>
<p>- формирование культуры информационной безопасности <b>(B23)</b></p>	<p>Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователям.</p>
<p>- формирование культуры ядерной и радиационной безопасности <b>(B24)</b>;  - формирование</p>	<p>1. Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и</p>

	<p>профессиональной ответственности в области разработки, а также применения современных методов, приборов и систем для достижения устойчивого развития мирных ядерных технологий, направленных на улучшение труда и жизни человека <b>(B25)</b>;  - формирование ответственной позиции по применению ядерных технологий в свете сохранения окружающей среды для будущих поколений <b>(B26)</b></p>	<p>радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн.</p> <p>2. Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Экология», «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений», «Ядерные технологии», «Радиационная гигиена», «Атомное право», «Радиационная и экологическая безопасность объектов ЯТЦ» для формирования личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами.</p> <p>3. Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Информатика», «Принципы обеспечения безопасности АЭС», «Принципы обеспечения безопасности эксплуатации АЭС», «Критерии безопасности и оценки риска», «Ядерные технологии и экология топливного цикла», «Информационные и компьютерные технологии», «Физические основы получения информации», «Информационная безопасность», «Автоматизированная система управления технологическим процессом АЭС», «Системы управления и защиты ядерных энергетических установок» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов.</p> <p>4. Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений», «Ядерные технологии», «Радиационная и экологическая безопасность объектов ЯТЦ», «Техногенные системы и экологический риск», «Безопасное обращение с РАО и ОЯТ», «Радиационная экология» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

		обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработке ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла
--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**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:		
	№ 10		
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателем</b>			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>32</b>		
В том числе:			
<i>лекции</i>	32		
<i>практические занятия</i>	-		
<i>лабораторные занятия</i>	-		
<b>Промежуточная аттестация</b>			
В том числе:			
<i>зачет</i>	+		
<i>зачет с оценкой</i>			
<i>экзамен</i>			
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>	<b>76</b>		
<b>Всего (часы):</b>	<b>108</b>		
<b>Всего (зачетные единицы):</b>	<b>3</b>		

**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
<b>1</b>	<b>Специфика развития ядерной энергетики в России</b>			-	-	
1.1	Общие вопросы развития ядерной энергетики	1		-	-	3
1.2	Ядерный топливный цикл. Основные понятия и определения	2		-	-	4
<b>2</b>	<b>Ядерное топливо</b>			-	-	
2.1	Органическое топливо	1		-	-	3
2.2	Ядерное топливо. Специфика ядерного топлива	1		-	-	3
2.3	Конструкционные формы ядерного топлива	1		-	-	3
2.4	Особенности ядерного топлива	1		-	-	3
2.5	Глубина выгорания	1		-	-	3
2.6	Потребность реактора в ядерном топливе	1		-	-	3
2.7	Неравномерность выгорания по реактору	1		-	-	3
2.8	Энергонапряженность	1		-	-	3
2.9	Режимы перегрузок ядерного топлива в реакторах	1		-	-	3
2.10	Вклад плутония в энерговыработку	1		-	-	3
2.11	Потребности в ядерном топливе с учетом рецикла	2		-	-	4
<b>3</b>	<b>Обогащенный уран</b>			-	-	
3.1	Методы обогащения урана	1		-	-	2
3.2	Основные понятия теории разделения изотопов	1		-	-	2
3.3	Работа по разделению изотопов	1		-	-	3
3.4	Цена обогащенного урана	2		-	-	4

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Виды учебной работы в часах (вносятся данные по реализуемым формам)				
		Очная форма обучения				
		Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО
<b>4</b>	<b>Затраты на изготовление твэлов</b>	<b>2</b>		-	-	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Экономика регенерации отработавшего топлива</b>	<b>2</b>		-	-	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Экономика АЭС</b>			-	-	
6.1	Себестоимость энергии	1		-	-	2
6.2	Топливная составляющая себестоимости энергии	1		-	-	2
6.3	Постоянная составляющая себестоимости энергии	1		-	-	2
6.4	Расходы на техническое обслуживание и ремонт	1		-	-	2
6.5	Цены на электроэнергию	1		-	-	2
6.6	Оценка эффективности капиталовложений	1		-	-	2
<b>7</b>	<b>Перспективы улучшения экономических показателей АЭС</b>	<b>2</b>		-	-	<b>4</b>
ИТОГО: за 10 семестр:		<b>32</b>		-	-	<b>76</b>
ВСЕГО:		<b>32</b>		-	-	<b>76</b>

## 6.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

### Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
<b>1</b>	<b>Специфика развития ядерной энергетики в России</b>	
1.1	Общие вопросы развития ядерной энергетики	Рассматриваются общие вопросы развития ядерной энергетики, понятий энергоэффективности и энергосбережения в соответствии с Энергетической стратегией России до 2030 года.
1.2	Ядерный топливный цикл. Основные понятия и определения	Рассматривается ядерный топливный цикл, приводится его классификация, приводятся данные по степени извлечения урана при различных способах добычи и переработки.
<b>2</b>	<b>Ядерное топливо</b>	
2.1	Органическое топливо	Рассматриваются основные характеристики органического топлива: теплота сгорания, жаропроизводительность, содержание балласта, содержание вредных примесей.
2.2	Ядерное топливо. Специфика ядерного топлива	Рассматриваются вопросы эффективности урановых месторождений, основные виды топлива в атомной энергетике.
2.3	Конструкционные формы ядерного топлива	Рассматриваются конструкционные формы ядерного топлива: твердое, жидкое, газообразное; конструкционные материалы ТВЭЛ и ТВС.
2.4	Особенности ядерного топлива	Рассматриваются особенности ядерного топлива, продуктов деления.
2.5	Глубина выгорания	Рассматривается понятие глубины выгорания. Приводятся формулы расчета.
2.6	Потребность реактора в ядерном топливе	Приводятся формулы расчета потребности реактора в ядерном топливе, приводятся данные по средним глубинам выгорания и удельной энерговыработки реакторов.
2.7	Неравномерность выгорания по реактору	Рассматриваются вопросы неравномерности выгорания по реактору.
2.8	Энергонапряженность	Рассматривает понятие энергонапряженности. Приводятся формулы расчета энергонапряженности топливной загрузки с учетом эффективной кампании топлива, понятие и формулы расчеты объемной и массовой энергонапряженности.
2.9	Режимы перегрузок ядерного топлива в реакторах	Рассматриваются режимы перегрузок: непрерывная, одноразовая, частичная.
2.10	Вклад плутония в энерговыработку	Рассматриваются вопросы вклада плутония в энерговыработку, приводятся формулы расчета интегрального и дифференциального коэффициента воспроизводства, коэффициента накопления плутония, приводятся примерные характеристики ядерного топлива в реакторах различного типа. Приводятся данные о мировых ценах на топливо и основные переделы топливного цикла.

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
2.11	Потребности в ядерном топливе с учетом рецикла	Приводятся формулы расчета потребности в ядерном топливе с учетом рецикла, коэффициента возвращения топлива в цикл.
<b>3 Обогащенный уран</b>		
3.1	Методы обогащения урана	Рассматриваются методы газовой диффузии, газовой центрифуги, лазерный, метод разделительного сопла (вихревой трубки), плазменный.
3.2	Основные понятия теории разделения изотопов	Рассматриваются вопросы расчет коэффициента расхода сырья, коэффициенты обогащения в зависимости от метода обогащения, вопросы конкурентоспособности центрифужного методы разделения изотопов. Приведены по предложению ЕРР по типам технологии обогащения.
3.3	Работа по разделению изотопов	Приведены формулы расчета работы по разделению изотопов.
3.4	Цена обогащенного урана	Приведены формулы расчета стоимости работы по разделению изотопов с учетом мировых и российских цен на этот вид передела ядерного топливного цикла.
<b>4 Затраты на изготовление твэлов</b>		
<b>5 Экономика регенерации отработавшего топлива</b>		
<b>6 Экономика АЭС</b>		
6.1	Себестоимость энергии	Рассмотрены вопросы составляющих себестоимости электроэнергии, произведенной на АЭС, в том числе ликвидационная составляющая. Приведены цены на основные переделы ЯТЦ как мировые, так и российские.
6.2	Топливная составляющая себестоимости энергии	Приведены формулы расчетов топливной составляющей себестоимости электроэнергии, произведенной на АЭС.
6.3	Постоянная составляющая себестоимости энергии	Рассмотрены постоянные расходы, относимые на себестоимость электроэнергии: эксплуатационные (амортизация, техническое обслуживание и ремонт, затраты на содержание эксплуатационного персонала, общестанционные затраты)
6.4	Расходы на техническое обслуживание и ремонт	Детально рассмотрены расходы на ТОиР, методика расчета экономической эффективности технического обслуживания и ремонта, методика формирования договорной цены на работы и услуги по техническому обслуживанию и ремонту систем и оборудования АЭС, методика оценки экономического эффекта от применения средств технического оснащения при проведении ремонтных работ систем и оборудования на АЭС.
6.5	Цены на электроэнергию	Рассмотрены тарифы на стоимость электроэнергии, произведенной на АЭС, в соответствии с действующим законодательством РФ.
6.6	Оценка эффективности капиталовложений	Рассмотрены вопросы эффективности капиталовложений в строительство АЭС и предприятий ЯТЦ.
<b>7 Перспективы улучшения экономических показателей АЭС</b>		
7	Перспективы улучшения экономических показателей	Рассмотрены вопросы возможности улучшения экономических показателей АЭС за счет

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
	АЭС	совершенствования топливных и конструкционных характеристик АЭС, перехода на замкнутый ядерный топливный цикл,

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

1. Методические указания по выполнению домашних заданий по дисциплине «Основы экономики ядерного топливного цикла», утвержденные кафедрой «Экономика, экономико-математические методы и информатика», протокол № 1 от 30.08.2014 г.

2. Электронный учебно-методический комплекс дисциплины «Экономика ядерной энергетики» – <http://iate.obninsk.ru/node/5230>.

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

### 8.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Индикатор достижения компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
<b>Текущий контроль, 10 семестр</b>			
1	Общие проблемы развития энергетики	3-ПК-5; У-ПК-5; В-ПК-5; 3-ПК-7; У-ПК-7; В-ПК-7;	Домашняя работа № 1
2	Работа энергоустановок на органическом топливе	3-ПК-5; У-ПК-5; В-ПК-5; 3-ПК-7; У-ПК-7; В-ПК-7;	Домашняя работа № 2
3	Работа ЯЭУ	3-ПК-5; У-ПК-5; В-ПК-5; 3-ПК-7; У-ПК-7; В-ПК-7;	Домашняя работа № 3
4	Расход, воспроизводство и наработка ядерного топлива	3-ПК-5; У-ПК-5; В-ПК-5; 3-ПК-7; У-ПК-7; В-ПК-7;	Домашняя работа № 4
5	Потребности ядерной энергетики в ресурсах природного урана	3-ПК-5; У-ПК-5; В-ПК-5; 3-ПК-7; У-ПК-7; В-ПК-7;	Домашняя работа № 5
6	Экономика получения обогащенного урана	3-ПК-5; У-ПК-5; В-ПК-5; 3-ПК-7; У-ПК-7; В-ПК-7;	Домашняя работа № 6
7	Экономика АЭС	3-ПК-5; У-ПК-5; В-ПК-5; 3-ПК-7; У-ПК-7; В-ПК-7;	Домашняя работа № 7
8	Расчет топливной составляющей себестоимости электроэнергии. Произведенной на АЭС, в учетом типа реактора	3-ПК-5; У-ПК-5; В-ПК-5; 3-ПК-7; У-ПК-7; В-ПК-7;	Индивидуальное домашнее задание № 1
<b>Итоговый контроль, 10 семестр</b>			
10	экзамен	3-ПК-5; У-ПК-5; В-ПК-5; 3-ПК-7; У-ПК-7; В-ПК-7;	Вопросы, задачи
Всего:			

8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 8.2.1. Зачет, экзамен

#### а) типовые вопросы:

1) Каковы масштабы современного потребления энергии в мире и РФ? Каковы темпы ежегодного прироста потребления энергии?

2) Зависимость уровня жизни, научно-технического и социально-экономического прогресса страны от уровня энергопотребления на душу населения. Основные закономерности взаимосвязи энергетики, экономики и экологии.

3) Неравномерность размещения энергетических запасов и их потребления в мире и РФ. Масштабы этой неравномерности, среднее потребление энергии на человека в мире, в развитых и развивающихся странах, в РФ. Прогнозные оценки роста энергопотребления на ближайшие десятилетия и более далекую перспективу.

4) Назовите основные причины роста энергопотребления. Как отличаются функциональные зависимости роста энергопотребления от времени при ограниченных и неограниченных ресурсах? Каким количеством параметров определяется энергопотребление в «экспоненциальной» и «гауссовской» моделях?

5) Каковы прогнозные оценки относительно уровня стабилизации населения Земли и среднедушевого энергопотребления? Через какой промежуток времени (примерно) должна произойти эта стабилизация?

6) Насколько существенно различается энергоемкость единицы валового внутреннего продукта в различных странах? В чем основные причины этих различий? Существует ли реальная возможность обеспечить перспективные потребности в энергии без значительного увеличения добычи первичных энергоресурсов, т.е. только за счет экономии энергии и внедрения энергосберегающих технологий?

7) В чем заключаются основные преимущества электрической энергии перед другими видами энергии? Почему неуклонно возрастает доля электроэнергии в общем энергопотреблении? В чем заключаются особенности электроэнергии как товара?

8) Каковы ресурсы органического топлива в мире и РФ? Какой процент из них реально извлекаем? Какова современная ситуация с запасами угля, нефти, газа, урана, тория?

9) Чему равны энергоресурсы потенциальных источников возобновляемой энергии? Правильно ли с точки зрения современных представлений утверждать, что необходимые человечеству потребности в энергии можно удовлетворить за счет источников возобновляемой энергии? На сколько отличается стоимость получения энергии из этих источников по сравнению с энергоустановками на органическом топливе и ядерной энергии? Каковы основные проблемы, связанные с широкомасштабным внедрением источников возобновляемой энергии? Являются ли эти источники в действительности экологически чистыми?

10) Почему перед человечеством возникла задача развития ядерной энергетики, если в отличие от нефти и газа, запасов угля хватит еще на сотни лет? Чем обусловлены основные проблемы угольного топливного цикла? За счет чего и на каких стадиях топливного цикла обеспечиваются экономическая и экологическая конкурентоспособности ядерной энергетики по сравнению с ТЭС на угле?

11) В каких количествах расходуется кислород и образуется углекислый газ при сжигании органического топлива при современных объемах энергопотребления? Каковы масштабы воздействия на окружающую среду ТЭС на органическом топливе? Какова стоимость необходимых природоохранных мероприятий? В чем сущность парникового эффекта? Какой материальный ущерб наносит выброс одной тонны нетоксичной пыли, окислов серы и азота?

12) Сформулируйте основные проблемы развития ядерной энергетики в мире и нашей стране. Что изменилось в стратегии ее развития после Чернобыльской аварии? Назовите страны – лидеры в области использования ядерной энергетики? Является ли АЭС в нормальном режиме эксплуатации более опасной с экологической точки зрения, чем ТЭС на угле?

13) В чем состоят главные экологические проблемы ядерного топливного цикла?

14) Современная структура топливно-энергетического баланса (ТЭБ) нашей страны. Почему доля угля в ТЭБ страны в последние десятилетия существенно уменьшилась? На

сколько вероятно, что эта тенденция будет сохраняться и в будущем? Какими причинами обусловлено снижение доли нефти в ТЭБ страны в последние годы? За счет каких районов обеспечивался последние 20 лет прирост потребностей нашей страны в топливе? Какая часть ресурсов ТЭБ относится к так называемому котельно-печному топливу? Чем обусловлена возрастающая роль природного газа в ТЭБ нашей страны? Какая доля транспортных перевозок приходится у нас на перевоз органического топлива?

15) Какая часть потенциальной тепловой энергии, содержащейся в израсходованных энергоресурсах, преобразуется в конечную энергию, и какая часть составляет потери? Какие резервы экономии органического топлива в нашей стране? Существует ли реальные возможности добиться, чтобы прирост потребности в топливе на 75-80% удовлетворялся за счет рационального и экономного расходования всех видов энергоресурсов?

16) Современная структура электрогенерирующих мощностей нашей страны. Что такое ГРЭС? Вырабатывают ли они полезную тепловую энергию наряду с электрической? Что такое ТЭЦ и ТЭС? Какой тип тепловых электростанций активно разрабатывается в последнее время? Каков электрический к.п.д. ТЭС и электрогенерирующих парогазовых установок? К каким экономическим преимуществам ведет укрупнение мощностей электростанций и единичных мощностей блоков?

17) Роль централизованного теплоснабжения и теплофикационных электростанций. Какой процент обеспечения централизованным теплоснабжением в нашей стране? Какое место в мире занимает она по объему теплофикации? Какова общая протяженность действующих теплосетей? В каком виде отпускается тепловая энергия? К каким преимуществам приводит комбинированная выработка тепловой и электрической энергии? Как отличаются коэффициенты полезного использования тепла на ТЭЦ и конденсационных электростанциях?

18) Расход топлива на ТЭС и ТЭЦ. Теплота сгорания и ее характерные значения для основных видов органического топлива. Удельный расход топлива, методы его снижения. Топливная составляющая себестоимости единицы вырабатываемой и отпускаемой потребителю электроэнергии и тепла. Масштабы потребления органического топлива на ТЭС, затраты на его приобретение, сопоставление с выручкой от продажи электроэнергии и тепла.

19) Особенности производства электрической и тепловой энергии. Дают ли существующие в настоящее время способы аккумуляирования энергии возможность обеспечить значительный вклад в баланс ее производства и потребления? Чем обусловлена жесткая связь производства и потребления энергии во времени? На сколько существенны суточная, недельная и сезонная неравномерности потребления энергии? Возможно, ли поставить все энергопроизводящие установки в режим наиболее полного использования установленной мощности? Чем определяется необходимость иметь значительные резервные мощности энергоустановок? Каковы нормативные требования к наличию резервных мощностей и соответствует ли современная ситуация в нашей стране этим требованиям? Каковы примерные суточные и сезонные графики электрических нагрузок? Что такое базовые, пиковые и полупиковые нагрузки?

20) Общие технико-экономические характеристики энергоустановок. Среднегодовой коэффициент использования установленной мощности (КИУМ). Почему КИУМ. энергоустановок является важнейшим технико-экономическим показателем работы энергоустановок? Каковы его характерные значения для разных типов энергоустановок? Как влияет на КИУМ. аварийный и ремонтный резервы мощностей, уровень надежности, технической готовности агрегатов и неравномерность потребления энергии? Приводит ли работа энергоблоков на сниженных мощностях к ухудшению экономических показателей, к перерасходу тепла и топлива? Как определяется коэффициент полезного использования тепла (тепловой к.п.д.) энергоустановки? Каковы его характерные значения? К каким последствиям приводят низкие значения коэффициента полезного использования тепла? Что такое капиталоемкость и фондоотдача электроэнергии? Какая доля всех основных производственных фондов страны сосредоточена в топливно-энергетическом комплексе? Какова доля капитальных затрат на энергетическое хозяйство промышленных предприятий в общих капиталовложениях в сооружение этих предприятий? Какая фондоотдача характерна для

предприятий электроэнергетики? Чем определяются масштабы инерционности развития энергетики? Какой расчетный срок службы ТЭС?

21) Каковы масштабы расхода кислорода и образования углекислого газа при работе типичных энергоустановок на органическом топливе? Как оцениваются затраты на ликвидацию вредных последствий эксплуатации станций на органическом топливе?

22) Основные особенности ядерной энергии. Чем обусловлена чрезвычайно высокая энергия продуктов ядерных реакций? Можно ли трактовать процесс выделения энергии в ядерных реакциях как превращение массы в энергию? Что называется ядерным топливом? Какие вы знаете естественные и искусственные делящиеся нуклиды? Могут ли изотопы урана и плутония делиться под действием промежуточных и быстрых нейтронов? Какое ядерное топливо называется первичным, какое вторичным? На каком ядерном топливе, в основном, базируется сегодня развитие ядерной энергетики? Из каких изотопов состоит природный уран? Каково содержание изотопов в его составе? Наблюдалось ли где-нибудь отклонение от этого содержания? Испытывают ли изотопы урана спонтанное деление? Что такое обогащенный уран, уран низкого, среднего и высокого обогащения?

23) Как соотносятся между собой энергия деления, термоядерного синтеза и аннигиляция в расчете на единицу массы? Как распределяется между продуктами энергия перечисленных реакций? Насколько теплотворная способность ядерного топлива превышает теплотворную способность органического топлива? Сколько энергии выделяется при делении 1 г  $^{235}\text{U}$  или  $^{239}\text{Pu}$ ? Сколько необходимо делящихся изотопов для выработки 1 МВт $\times$ сут. тепловой энергии? В каком виде применяется ядерное топливо в реакторах? Что такое ТВЭЛ? Что такое ТВС?

24) Масштабы расхода ядерного топлива на АЭС. Сколько шлаков накапливается в отработанном топливе АЭС? Можно ли «сжечь» полностью все делящиеся нуклиды за одноразовое пребывание топлива в реакторе? Какую часть топлива можно сжечь? Можно ли иметь в реакторе расширенное воспроизводство делящихся нуклидов? Требуется ли «сжигание» ядерного топлива окислителя? Что такое остаточное тепловыделение? Что создает особые трудности в обращении с отработанным топливом? Какие основные процессы происходят в материалах реактора под действием нейтронов и как они влияют на экономику ЯЭУ?

25) Как связана мощность реактора со скоростью делений? Как плотность потока нейтронов в энергетическом реакторе связана с его мощностью? Что такое флюенс нейтронов в реакторе и каковы его типичные значения? Чем отличается нейтронная бомба от атомной?

26) Что такое удельная энергосвязка, глубина выгорания и энергонапряженность ядерного топлива? Как эти величины связаны между собой? Чем отличается величина глубины выгорания от удельного расхода делящихся изотопов в топливе за кампанию? Как по удельной выработке определяется расход ядерного топлива за год? Кампания топлива в реакторе, эффективная и календарная. Как определяется полная загрузка топлива в реакторе? Какой удельный расход топлива в реакторе? Как средняя плотность теплового потока с поверхности ТВЭЛ связана с массовой энергонапряженностью топлива? Каковы примерно стоимость ядерного топлива, ежегодной подпитки реактора и полной загрузки в ЯЭУ?

27) Особенности ядерного топлива. Что такое дифференциальный и интегральный коэффициент воспроизводства? Коэффициент накопления? Какова динамика накопления плутония с ростом выгорания?

28) Расширенное воспроизводство ядерного топлива в реакторах - размножителях. Особенности экранного цикла для быстрых реакторов. Коэффициент прироста топлива для реакторов – размножителей.

29) Каковы масштабы наработки плутония в реакторах разного типа? Какие возможны режимы работы ЯЭУ как предприятий двухцелевого назначения? Значение воспроизводства для экономики ядерной энергетики.

30) Как составляется годовой баланс делящихся изотопов в топливе реакторов на тепловых нейтронах? Как определяется коэффициент воспроизводства экрана в быстром реакторе?

31) Сколько примерно накапливается  $^{236}\text{U}$  в отработанном топливе реактора ВВЭР – 1000? Какими факторами ограничено воспроизводство плутония в экране быстрого реактора – бридера? Какой объем радиоактивных осколков содержится в годовой выгрузке реактора с тепловой мощностью 3000 МВт?

32) Что такое расходный коэффициент? Каким образом он определяется? Как рассчитывается потребность в первичном ядерном топливе на весь срок службы для реакторов с непрерывной и частичной перегрузкой?

33) Что такое темп развития ядерной энергетики и время удвоения мощностей? Какая взаимосвязь существует между этими понятиями? Какова роль возвращения топлива в цикл для стационарной и развивающейся ядерной энергетики? В чем заключается значение времени внешнего топливного цикла для развивающейся ядерной энергетики?

34) Что такое КВЦ? Как он определяется с учетом возвращения в цикл  $^{239}\text{Pu}$ ? Каким образом связаны между собой КВЦ и КВ для реакторов на быстрых нейтронах с уран – плутониевым топливом?

35) Какие характеристики быстрых реакторов влияют на время удвоения мощностей развивающейся ядерной энергетики с постоянным темпом прироста? Как выводится уравнение, отвечающее условию самообеспечения топливом развивающейся ядерной энергетики? От каких параметров зависит решение этого уравнения? Как отличаются между собой объемы накапливающегося отработанного топлива для реакторов различного типа при отсутствии рецикла?

36) В чем заключается принцип метода газовой диффузии при разделении изотопов? Чему равен теоретический коэффициент разделения изотопов в этом методе? Чему равен коэффициент обогащения для одной ступени разделения и почему он отличается от теоретического?

37) Каким образом организована работа разделительного каскада? Как определяется число разделительных ступеней в разделительном каскаде? Как рассчитывается разделительная работа для получения 1 кг обогащенного урана? От каких параметров зависит эта работа?

38) Что необходимо знать для определения мощности предприятий по разделению изотопов? Какие объемы разделительной работы необходимы для обеспечения топливом реакторов ВВЭР – 1000 и РБМК – 1000? В чем заключается специфика получения обогащенного топлива для реакторов на быстрых нейтронах? Как оценить затраты электроэнергии, необходимые для обеспечения работы газодиффузионного завода известной производительности?

39) В чем заключается принцип центрифужного метода разделения изотопов? Каковы основные преимущества центрифужной технологии по сравнению с газодиффузионной. В чем состоят главные проблемы дальнейшего развития центрифужного метода?

40) На каких принципах основан лазерный метод разделения изотопов урана? Какие два различных способа реализации этого метода существуют? В какой стране достигнут наибольший прогресс в разработке лазерной технологии разделения изотопов урана?

41) Основные производственные фонды и капиталовложения в ядерной энергетике, их структура. Оборотные фонды, фондоемкость и фондоотдача. Показатели эффективности использования основных фондов АЭС, оценка их стоимости. Капиталовложения в АЭС, их особенности и структура затрат. Амортизационные отчисления. Структура капитальных вложений при строительстве АЭС

42) Методы оценки эффективности капиталовложений, срок окупаемости, прибыль, рентабельность. Метод приведенных затрат, нормативный коэффициент эффективности капиталовложений. Удельные приведенные затраты. Условия сопоставимости при сравнении экономической эффективности. Учет фактора времени. Приведенные капиталовложения. Дисконтирование Нормативный коэффициент приведения разновременных затрат. Потери от замораживания капиталовложений. Учет потерь от завышенной себестоимости энергии в период выхода АЭС на проектную мощность. Особенности применения метода приведенных затрат в ядерной энергетике.

43) Техничко-экономические показатели АЭС и себестоимость производимой энергии. Себестоимость продукции. Включает ли она затраты на расширенное воспроизводство? Чем отличается цена продукции от ее себестоимости? Структура себестоимости энергии в ядерной энергетике? Постоянные и переменные составляющие затрат. Проектная и фактическая себестоимости энергии. Состав и структура эксплуатационных затрат. Какие затраты вносят основной вклад в себестоимость энергии?

44) Топливная составляющая себестоимости энергии. Влияние среднегодового коэффициента установленной мощности и коэффициента использования электроэнергии на собственные нужды. Составляющие годовых затрат на топливо для стационарного режима эксплуатации АЭС. Стоимость исходного продукта (природного урана), фторирования и обогащения урана. Стоимость изготовления ТВЭЛов и ТВС, их транспортировки и хранения отработанного топлива. Особенности расчета фактической топливной составляющей в ядерной энергетике.

45) Расчет постоянных составляющих себестоимости энергии на АЭС: на амортизацию, на текущий ремонт, содержание эксплуатационного персонала, общестанционные расходы.

46) Сравните годовые затраты на топливо для АЭС с реактором на тепловых нейтронах и ТЭС при их одинаковой электрической мощности в 1 ГВт. Какие возможности существуют для уменьшения себестоимости 1 кВт×ч (э) на АЭС? Какими факторами объясняется различие топливной составляющей себестоимости электроэнергии для ТЭС и АЭС?

47) Цены и тарифы на электроэнергию. Что составляет основу цены электрической и тепловой энергии? Занимаются ли сами электростанции передачей, распределением и продажей потребителям электрической или тепловой энергии? Чем отличаются оптовые и розничные цены на электроэнергию? Какие системы тарифов на потребляемую энергию применяются в нашей стране? Назовите основные факторы, определяющие прибыль и рентабельность в ядерной энергетике.

48) Актуальность повышения эффективности топливоиспользования в реакторах на тепловых нейтронах. Насколько эффективно используется природный уран в реакторах на тепловых нейтронах при незамкнутом ядерном топливном цикле? Какой эффект даст в этом случае применение замкнутого топливного цикла? Как этот эффект зависит от КВ? Каково влияние на экономику ядерной энергетике глубокого извлечения  $^{235}\text{U}$  при обогащении природного урана?

49) Роль реакторов - размножителей в топливообеспечении развивающейся ядерной энергетике. Во сколько раз увеличивается теплотворная способность урана при превращении  $^{238}\text{U}$  в плутоний? Каковы возможные варианты использования ядерного топлива в быстрых реакторах с точки зрения экономической эффективности? Какие факторы оказывают сдерживающее влияние на расширение масштабов использования быстрых реакторов – размножителей? В каких установках, кроме быстрых реакторов, можно получить расширенного воспроизводства ядерного топлива? Сказывается ли ограниченность топливных ресурсов на их цене задолго до того, как эти ресурсы исчерпываются?

50) Условия экономичности химической переработки отработанного топлива. Масштабы затрат на хим.переработку ядерного топлива. Влияние стоимости хим.переработки на топливную составляющую себестоимости энергии для реакторов различного типа. Оценка стоимости плутония, получаемого при хим.переработке отработанного топлива.

51) Основные звенья ядерного топливно-энергетического комплекса (ЯТЭК). Реакторы, дающие избыточное ядерное топливо; реакторы, подпитываемые ядерным облученным топливом; завода избыточного обогащения урана; заводы фабрикации топлива. Методы организации ЯТЭК.

52) Современная структура ядерной энергетике нашей страны. АЭС с легководными реакторами на тепловых нейтронах. АЭС с реакторами на быстрых нейтронах.

53) Перспективная структура ядерной энергетике. Необходимость замкнутого топливного цикла, массового строительства бридеров. Экономический анализ ядерного

топливного цикла как средства оптимизации перспективной структуры ядерной энергетики, определения доли бридеров. Предельный случай крайне дорогого урана. Принципы разработки балансовых и оптимизационных моделей ядерной энергетики. Методика учета неполноты исходной информации.

54) Применение методов системного и экономического анализа в экономике ядерной энергетики. Соотношение системного и экономического анализа. Модель системы, ее иерархическая структура. Модель условий и модель целей. Экономические категории являющиеся инструментами оптимизации сложных иерархических систем, независимых от их природы. Линейное программирование. «Объективно обусловленные оценки» (внутренние цены оптимизируемой системы). Критерий оптимальности, его зависимость от внешних цен. Внутренние цены (отрасли), как инструменты оптимизации. Локальные критерии. Построение ценностных балансов, формирование критериев доходности. Внутренние цены (множители Лагранжа) как универсальный инструмент оптимизации сложных систем. Критерии «прибыль» или «доход» в простых статических задачах. Приведенный (дисконтированный) доход как критерий оптимизации в сложных динамических задачах.

**б) типовые задания:**

*Задача 1.*

Для оценки масштабов мирового потребления энергии часто используется специальная единица  $1Q = 2,52 \times 10^{17}$  ккал. Среднее за год энергопотребление в мире составляет около  $0,35Q$ . За всю историю человечества израсходовано примерно  $10Q$ , причем  $4Q$  за последние 100 лет:

а) найдите массы условного топлива и нефтяного эквивалента, которые соответствуют указанным выше энергиям в  $1Q$ ,  $0,35Q$ ,  $10Q$  и  $4Q$ ;

б) оцените современное среднее энергопотребление на человека в год ( в тоннах у.т.), принимая численность населения Земли 6 млрд. человек;

в) найдите стоимость массы у.т., соответствующей энергиям в  $1Q$ ,  $0,35Q$ ,  $10Q$  и  $4Q$ , при стоимости нефти 50 у.е. за баррель (1 баррель = 158,76 л).

*Задача 2.*

ГРЭС номинальной мощностью 500 МВт (э) израсходовала за год 1 млн. т.у.т. и выработала 2 млрд. кВт ч электроэнергии. При этом коэффициент расхода электроэнергии на собственные нужды (Кс.н.) составил 8%, стоимость условного топлива – 375 руб. /т.у.т., цена отпущенной энергосбытовым организациям электро-энергии – руб./ кВт ч.

а) найти средний за год коэффициент использования мощности (к.и.м.);

б) найти коэффициент полезного действия (к.п.д.);

в) найти разницу между выручкой за отпущенную потребителю электроэнергию и затратами на топливо.

*Задача 3.*

Оценить плотность ядерного вещества; ее отношение к средней плотности Земли; радиус земного шара, если бы плотность Земли равнялась плотности ядерного вещества. (Масса Земли 5,98 10<sup>24</sup> кг, радиус Земли 6,37 10<sup>6</sup> м).

*Задача 4.*

Определить: а) среднюю глубину выгорания отработанного топлива реактора РБМК-1000 (к.п.д. 0,31, к.и.м. 0,8), если на ежегодную перегрузку затрачивается 55 т обогащенного урана; б) среднюю концентрацию шлаков в отработанном топливе реактора ВВЭР – 1000 (к.п.д. 0,33, к.и.м. 0,78 при ежегодной перегрузке 23 т (U)); в) стоимость топлива ежегодной перегрузки при цене топлива 9000 руб./кг для реактора РБМК-1000 и 21 000 руб./кг для ВВЭР-1000.

*Задача 5.*

Определить коэффициент воспроизводства

а) для реактора ВВЭР (выгорание  $B = 40000$  МВт×сут./т, обогащение свежего топлива 4,4%), в отработанном топливе которого концентрация делящихся изотопов 20 кг/т, вклад в полную глубину выгорания  $^{235}\text{U}$  25 кг/т,  $^{238}\text{U}$  2 кг/т; б) для реактора на быстрых нейтронах при следующих данных: концентрация плутония в начальном топливе 20%, выгорание за кампанию

1 год 100 кг/т, время удвоения 12 лет при времени внешнего цикла 1 год,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,2$ .

**Задача 6.**

Оценить потребности в ресурсах природного урана за срок службы 40 лет и его стоимость при цене 700 руб./кг ( $U$ ) (концентрацию  $^{235}U$  в отвале принять равной 0,26%): а) для реактора РБМК-1000 (к.п.д. 0,31, к.и.м. 0,85,  $V = 18000 \text{ МВт} \times \text{сут./т}$ , обогащение свежего топлива 1,8%, эффективная кампания топлива 1080 сут.); б) для тяжеловодного реактора на природном уране (тепловая мощность 3200 МВт,  $V=7500 \text{ МВт} \times \text{сут./т}$ , к.и.м. 0,8, эффективная кампания топлива 1 год).

**Задача 7.**

Оценить расход и стоимость природного урана при его цене 1000 руб./кг, а также объем и стоимость разделительной работы для получения 1 кг обогащенного урана для следующих случаев при цене 2000 руб./ЕРР ( $x$  – обогащение полученного урана,  $y$  – концентрация  $^{235}U$  в отвале): а)  $x = 4,4\%$ ,  $y = 0,3\%$ ; б)  $x = 4,4\%$ ,  $y = 0,2\%$ ; в)  $x = 2\%$ ,  $y = 0,2\%$ ; г)  $x = 2\%$ ,  $y = 0,3\%$ ; д)  $x = 20\%$ ,  $y = 0,2\%$ ; е)  $x = 20\%$ ,  $y = 0,3\%$ .

**Задача 8.**

Реактор «Библис» имеет номинальную мощность 3500 МВт (т), Тэф. = 2 года,  $x = 3\%$ ,  $V = 25000 \text{ МВт сут./т}$ , полное число ТВС в активной зоне 193 шт. Принять цены на природный уран 80 долл./кг, разделительную работу 100 долл./ЕРР ( $y = 0,26\%$ ), изготовление ТВЭЛ и ТВС – 100 долл./кг ( $U$ ). Найти стоимость 1 ТВС.

**Задача 9.**

При проектировании строительства АЭС номинальной электрической мощностью 1000 МВт рассматриваются три варианта:

Капиталовложения, млн. руб.	750	1000	1250
Годовые издержки производства, коп. на 1 кВт произведенной за год электроэнергии	1,5	1,2	1,0
Коэффициент использования установленной мощности	0,70	0,75	0,80

Рассчитать для каждого из вариантов:

- а) приведенные затраты за 1 год эксплуатации;
  - б) удельные приведенные затраты на выработку 1 кВт×ч электроэнергии.
- Для нормативных сроков окупаемости принять значения 5 и 10 лет.

**б) критерии оценивания компетенций (результатов):**

1. уровень освоения студентом материала, предусмотренного учебной программой;
2. полнота и правильность ответа, степень осознанности, понимания изученного;
3. обоснованность, четкость, краткость изложения ответа;
4. ответы на дополнительные вопросы.

**в) описание шкалы оценивания:**

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36-40	Студент должен: - продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала; - исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; - правильно формулировать определения; - продемонстрировать умения самостоятельной работы с

	литературой; - уметь сделать выводы по излагаемому материалу.
Хорошо 30-35	Студент должен: - продемонстрировать достаточно полное знание программного материала; - продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал; - продемонстрировать умение ориентироваться в литературе; - уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.
Удовлетворительно 25-29	Студент должен: - продемонстрировать общее знание изучаемого материала; - показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины; - уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; - знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.
Неудовлетворительно 24 и меньше	Студент демонстрирует: - незнание значительной части программного материала; - не владение понятийным аппаратом дисциплины; - существенные ошибки при изложении учебного материала; - неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; - неумение делать выводы по излагаемому материалу.

### 8.2.2. Домашняя работа №1

#### а) Пример домашней работы № 1

Какой уровень энергопотребления будет достигнут в мире у 2010 г. при ежегодном темпе прироста энергопотребления на человека – 4%, населения Земли – на 2,2%. Принять в 1990 году численность населения Земли 5 млрд. человек, объем мирового энергопотребления 10 млрд. т.у.т.

В среднем на одного человека в 1990 году затрачено  $10/5 = 2$  т.у.т.

При заданном приросте энергопотребления на одного человека к 2010 году будет потребляться  $2 \text{ т.у.т.} \times e^{0.04 \times (2010-1990)} = 4,43 \text{ Т.У.Т./год}$ .

Население за это время возрастет до  $5 \times e^{0.022 \times (2010-1990)} = 7,74$  млрд.чел.

Таким образом, объем мирового потребления к 2010 году возрастет до  $7,74 \times 4,43 = 34,29$  млрд.т.у.т в год или в 3,43 раза.

#### Пример домашней работы № 2

ГРЭС израсходовала 1 млрд. т.у.т. за год ( $W_T$ ), выработала 2 млрд. кВт×ч электроэнергии ( $W_{\text{э}}$ ). Номинальная мощность ГРЭС составляет 500 МВт (э).

Рассчитать КПД, КИУМ, разницу между выручкой за отпущенную потребителю электроэнергию и затратами на топливо, если  $C_{\text{э}}$  – цена отпущенной потребителю электроэнергии, составляющая  $1,5 \frac{\text{коп.}}{\text{кВт}\times\text{ч}}$ ;  $W_T$  – масса израсходованного топлива,  $C_T$  – цена единиц массы топлива, составляющая 15 рублей.

$$\text{КПД} (\eta) = \frac{W_{\text{э}}}{W_T} = \frac{2 \times 10^9}{8,12 \times 10^9} = 0,246.$$

$$\text{Так как } W_T = 10^9 \text{ кг у. т.} \times 7000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} \text{ у. т.} = 7 \times 10^{12} \text{ ккал} \times 1,16 \frac{\text{кВт}\times\text{ч}}{\text{ккал}} = 8,12 \times 10^9 \text{ кВт} \times$$

ч.

$$\text{КИУМ}(\varphi) = \frac{W_{\text{э}}}{W_{\text{э}}^{\text{н}}} = \frac{2 \times 10^9}{500 \times 10^3 \times 8760 \frac{\text{ч}}{\text{год}}} = 0,457.$$

$$\text{Разница } (D) = W_{\text{э}}(1 - k_{\text{с.н}}) \times \text{Ц}_{\text{э}} - W_{\text{т}} \times \text{Ц}_{\text{т}} = 2 \times 10^9(1 - 0,08) \times 1,5 \frac{\text{коп.}}{\text{кВт} \times \text{ч}} - 10^6 \text{т. у. т.} \times 1500 \frac{\text{коп.}}{\text{т. у. т.}} = 1,26 \times 10^9 \text{ коп.}$$

### Пример домашней работы № 3

АЭС с к.п.д. 0,29 выработала за год 7 млрд. кВт×ч электроэнергии, затратив при этом на перезагрузку 50 т обогащенного урана. Определить:

- удельную энерговыработку (в МВт×сут./т);
- глубину выгорания (в кг/т);
- среднюю массовую энергонапряженность при эффективной кампании топлива 3 года;
- стоимость топлива для перегрузки при цене 20 000 руб./кг.

а) Удельная энерговыработка  $B = \frac{W_{\text{э}}}{\eta \times G_x} = 20000 \text{ МВт} \times \text{сут.};$

б) глубина выгорания  $\alpha = 1,05 \times 10^{-3} B \text{ кг/т} = 21 \text{ кг/т};$

в) средняя массовая энергонапряженность  $J = \frac{B}{T_{\text{эф}}} = 18,3 \text{ кВт/кг.}$

### Пример домашней работы № 4

Оценить количество  $^{236}\text{U}$ , накапливающегося в отработанном топливе реактора ВВЭР – 440 ( $x=3,3\%$ ) при выгорании 29000 МВт×сут./т, если известно  $KB = 0,52$  и содержание плутония в отработанном топливе 9 кг/т.

Накопление  $U^{236}$  происходит в результате радиационного захвата нейтронов ядрами  $U^{235}$ . Масса накопленного  $U^{236}$  поэтому пропорциональна массе разделившегося  $U^{235}$ , а

именно  $m_6 = \alpha_5 \times \left(\frac{\sigma_{\gamma}}{\sigma_f}\right)_5$ . Чтобы определить глубину выгорания  $\alpha_5$  изотопа, необходимо

рассмотреть баланс делящихся изотопов (пренебрегая делением  $U^{238}$  быстрыми нейтронами).

Глубина выгорания, отвечающая делению изотопов  $U^{235}$  и  $Pu^{9,41}$ ,  $\alpha = 1,05 \times 10^{-3} \times B = 30,5 \text{ кг/т.}$

Масса наработанного плутония  $m_{Pu} = KB \times \alpha = 15,9 \text{ кг/т.}$  Масса израсходованного плутония  $m'_{Pu}$

$$= 15,9 - 9 = 6,9 \text{ кг/т. } m'_{Pu} = \alpha_{Pu}^0 \times \left(1 + \frac{\delta_{\gamma}}{\delta_f}\right) = 1,4 \times \alpha_{Pu}^0. \text{ Откуда } \alpha_{Pu}^0 = 4,9 \text{ кг/т. Находим } \alpha^5 = \alpha - \alpha^9$$

$= 25,6 \text{ кг/т.}$  Таким образом, количество накопленного  $U^{236}$  характеризуется величиной  $m_6 = 25,6 \times 0,17 = 4,35 \text{ кг/т.}$

### Пример домашней работы № 5

Реактор на быстрых нейтронах тепловой мощностью 3000 МВт проектируется в расчете на уран-плутониевое топливо с содержанием плутония 20%, кампанией 450 эффективных суток (при трех частичных перегрузках за кампанию, выгорание 90000 МВт×сут./т,  $KB = 1,4$ ). Предполагается, что в этом реакторе будет использоваться плутоний, полученный после переработки отработанного топлива ВВЭР-1000 (к.п.д. 0,33, к.и.м. 0,8,  $B = 40000 \text{ МВт} \times \text{сут./т}$ ,  $KN = 0,18$ ):

а) оценить необходимые мощности и объемы энерговыработки ВВЭР для обеспечения плутонием запуска одного проектируемого быстрого реактора в год (время внешнего цикла 2 года);

б) исходя из результатов решения пункта а) данной задачи (для запуска одного проектируемого быстрого реактора необходимо использовать 8 т плутония, нарабатываемого за год 48-ю блоками ВВЭР – 1000), оценить соответствующий расход природного урана и его стоимость при цене 1000 руб./кг.

а) Начальная загрузка быстрого реактора на кампанию  $G_{0x} = \frac{N_T \times T_{эф}}{B} = 15$  т, с

содержанием плутония  $0,2 \times 15 = 3$  т. Для каждой частичной перегрузки требуется 5т топлива, из которых 1 т плутония. Для запуска быстрого реактора необходимо иметь запас как для начальной загрузки. Так и для 5-ти частичных перегрузок при заданном времени внешнего цикла переработки 2 года:  $3 \text{ т} + 1 \times 5 \text{ т} = 8 \text{ т}$ .

Ежегодно с одного блока ВВЭР-1000 выгружается топливо  $G_x = 3000 \times 0,8 \times 365 / 40000 = 22$  т (U). Нарботка  $Pu \text{ з} = KH \times \alpha = 0,18 \times 42 = 7,6$  кг/т или 166 кг в годовой выгрузке. Для наработки 8 т плутония для быстрого реактора понадобится переработать топливо из  $8000 / 166 = 48$  блоков ВВЭР-1000. Таким образом, для запуска ежегодно одного быстрого реактора необходима наработка 48 ГВт×год (э) ВВЭР-1000.

б) Ежегодный расход топлива ВВЭР-1000 составляет 22,8 т обогащенного урана (см. задачу 5.3. а), что соответствует расходу природного урана (для  $y = 0,26\%$ ).

$G_x = 22,8 \times (4,4 - 0,26) / (0,71 - 0,26) = 210$  т. С учетом возвращения  $U^{235}$  в цикл (КВЦ=0,24, см. задачу 5.3. а) потребность в уране снижается до 160 т. Если бы нарабатываемый в ВВЭР-100 плутоний в количестве 7,6 кг/т в год возвращался в тот же реактор, то экономя определялась бы величиной:  $KВЦ' = KВЦ + \frac{z}{x} = 0,24 + 7,6 / 44 = 0,41$  (эффективность  $U^{235}$  и  $Pu^9$  предполагаем одинаковой). Тогда природного урана потребовалось бы 124 т. Таким образом, выводя плутоний из цикла ВВЭР-1000 для использования в быстром реакторе, эффективно теряется  $160 - 124 = 36$  т природного урана в год на один блок, а для 48 блоков, топливо с которых дает плутоний для запуска одного быстрого реактора, эта величина будет  $\Delta G_c = 48 \times 36 = 1728$  т (U) = 2030 т  $U_3O_8$ . Это определяет расход ресурсов на запуск одного быстрого реактора с уран-плутониевым топливом (используемый в этом реакторе уран предполагается обедненным - отвальным и как ресурс не учитывается).

### Пример домашней работы № 6

Потребность в топливе для полной загрузки активной зоны на кампанию  $G_{0x} = 3000 \times 450 / 75000 = 18$  т, из которых 3,6 т  $U^{235}$ . Среднее время между перегрузками  $150 / \phi = 183$  сут. Поэтому на перегрузку необходимо 6 т топлива, из которых 1,2 т  $U^{235}$  или  $Pu^{239}$ . Нарботка плутония оценивается по балансу делящихся изотопов в выгружаемом топливе  $200 + KB \times \alpha - \alpha' = m_{ocm}^9 + (200 + 140)$ ,  $\alpha = 78,8$  кг/т,  $\alpha' = 94,5$  кг/т, откуда  $m_{ocm}^9 = 48200 + KB \times \alpha - \alpha' = m_{ocm}^9 + (200 + 140)$ , а содержание  $Pu^{239}$  в одной выгрузке  $48 \times 6 = 288$  кг. Чтобы сформировать перегрузку с топливом, полученным после переработки плутония, необходимо переработать  $1200 / 288 = 4,2$  кг выгрузки. С учетом времени внешнего цикла 2 года, видно, что сформировать уран-плутониевую загрузку будет возможно через 4,5 года со времени пуска. Следовательно, урановое топливо понадобится как для первой загрузки, так и для восьми полугодовых перегрузок. Следует отметить, что две последние урановые перегрузки могут быть сформированы с использованием рециклированного из данного реактора урана 140 кг/т в отработанном топливе. Таким образом, природный уран реально необходим лишь на 6 полугодовых перегрузок. Разделительная работа по обогащению урана из отработанного топлива до необходимых 20% характеризуется величиной разделительной работы  $n_{erp} = V(20) + (20 - 14) / (14 - y) \times V(y) - (20 - y) / (14 - y) \times V(14)$  для  $y = 0,3\%$ ,  $n_{erp} = 1,5$

Объем разделительной работы для приготовления топлива на две последние (перед переводом реактора на плутониевое топливо) загрузки равен  $2/3 G_{0x} \times n_{erp} = 18 \times 10^3 \text{ ЕРР}$ . Потребность в ресурсах для рассматриваемого реактора определится суммой  $\sum G_x = G_{0x} + 6/3 G_{0x} = 54$  т, что соответствует 2600 т природного урана или 3066 т  $U_3O_8$ . Для производства 54 т

урана с обогащением 20% из природного при  $y=0,3\%$  будет затрачено разделительной работы  $n_{\text{ерр}} \times 54 \times 10^3 = 2,07$  млн.ЕРР, что с учетом разделительной работы на дообогащение урана из отработанного топлива составит 2,088 млн.ЕРР.

### **Пример домашней работы № 7**

Оценить сравнительную эффективность вариантов строительства АЭС (срок строительства 6 лет, нормативный коэффициент эффективности капиталовложений 0,1, нормативный коэффициент приведения разновременных затрат 0,1):

Мощность, МВт	750	1000	1250
Капиталовложения, млн. руб.	600	750	900
Распределение капиталовложений по годам, млн. руб.	50, 150, 100, 150, 100, 50	100, 100, 150, 150, 100, 150	250, 200, 150, 100, 100, 100
Годовая себестоимость произведенной электроэнергии, млн. руб.	70	80	90

Определить также для каждого из вариантов финансовые потери от замораживания капиталовложений.

Эффективность различных вариантов строительства оценивается по минимуму приведенных затрат, при расчете которых в качестве капитальных вложений принимаются приведенные капиталовложения  $K_{np}$ , учитывающие ущерб от долговременности строительства:

$$K_{np} = \sum_{t=1}^{t_{cmp}} K_t (1 + P_H)^{t_{cmp}-t}$$
, где  $P_H$  - нормативный коэффициент приведения разновременных затрат,  $t_{cmp}$  - период строительства (годы),  $t$  - год строительства. В нашем случае имеем. Первый вариант:  $K_{np} = 50 \times 1,61 + 1,464 \times 150 + 1,331 \times 100 + 1,21 \times 150 + 1,1 \times 150 + 50 = 829,7$  млн. руб. Приведенные затраты  $Z = E_H \times I_{np} + И = 0,1/829,7 + 70 = 152,97$  млн.руб. Потери от замораживания капитальных вложений:  $K = K_{np} - K = 829,7 - 600 = 229,7$  млн.руб.

Второй вариант:  $K_{np} = 948,55$  млн.руб.,  $Z = 174,855$  млн.руб.,  $K = 198,55$  млн.руб.

Третий вариант:  $K_{np} = 1325,95$  млн.руб.,  $Z = 222,595$  млн.руб.,  $K = 425,95$  млн.руб.

Таким образом, минимуму приведенных затрат соответствует первый вариант строительства АЭС, а минимальные финансовые потери от замораживания капиталовложений дает второй вариант.

### **б) критерии оценивания компетенций (результатов):**

Критерии оценки:

- уровень освоения обучающимся материала, предусмотренного учебной программой;
- умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении заданий и задач;
- обоснованность, четкость, краткость изложения ответа.

### **в) описание шкалы оценивания:**

**17-20 баллов** ставится, если:

- Задание решено правильно;
- ответ показывает понимание материала;
- обучающийся может обосновать свои суждения, применить знания на практике.

**14-16** ставится, если:

- Задание решено правильно с незначительными поправками;
- при ответе допускаются ошибки, заминки, которые обучающийся в состоянии исправить

самостоятельно при наводящих вопросах;

– обучающийся затрудняется с ответами на 1-2 дополнительных вопроса.

**10-13** ставится, если:

– Входе решения задания была допущена ошибка;

– материал излагается непоследовательно;

– обучающийся не может применить теоретические знания на практике;

– на 50% дополнительных вопросов даны неверные ответы.

**0-9** Задание возвращается обучающемуся для переделывания.

### 8.2.3. Индивидуальное домашнее задание № 1

#### а) Пример индивидуальной домашней работы № 1

Индивидуальная домашняя работа сдается в MSOfficePowerPoint. Все данные, которые необходимы для решения поставленной задачи, но в условии отсутствуют, студент самостоятельно находит на предложенных сайтах с публичной информацией. Очевидно, найденные данные должны соответствовать рекомендуемым в методических материалах данного курса с заданным диапазоном погрешности.

*Условие.* Реактор ВВЭР-440. Принять КИУМ АЭС с реакторами ВВЭР-440 равным 0,85. Цены на переделы топливного цикла считать постоянными.

1) Рассчитать годовую и за весь проектный срок службы 40 лет потребность для одного реактора в природном уране и его стоимость.

2) Определить потребность в природном уране для всего парка этих реакторов в России. Содержание U235 в отвале разделительного производства принять равным 0,3%.

3) Определить количество ОЯТ и плутония, нарабатываемое всем парком реакторов ВВЭР-440 за весь проектный срок.

4) Определить топливную составляющую производства 1 кВт×ч электроэнергии по российским и зарубежным ценам.

Целью данного домашнего задания является определение количества и стоимости ядерного топлива для атомных электрических станций с реакторной установкой ВВЭР-440, а также, непосредственно, стоимость топливной составляющей одного киловатт часа электроэнергии отпускаемой данной электростанцией.

Для расчёта использовались актуальные цены основных составляющих процесса производства и переработки (в том числе захоронения) ядерного топлива.

Начальное обогащение топлива ураном-235 составляет 3,5%. Следовательно, глубина выгорания составит:  $\alpha=35\text{кг/т}$ . Выразим глубину выгорания в энергетических единицах:

$$B = \frac{\alpha}{1.05 \cdot 10^{-3}} = \frac{35}{1.05 \cdot 10^{-3}} = 33.3 \cdot 10^3 \frac{\text{МВт} \cdot \text{сут}}{\text{т}}$$

Найдём массу первой загрузки топлива (эфф. время равно 3 года):

$$G_{0x} = \frac{N_{\text{э}} \cdot T_{\text{эфф}}}{B \cdot \eta} = \frac{440 \cdot 1095}{33,3 \cdot 10^3 \cdot 0,32} = 45,2 \text{ т}$$

Так же найдём ежегодную потребность в обогащённом уране:

$$G_x = \frac{N_{\text{э}} \cdot T_{\text{кэл}} \cdot \varphi}{B \cdot \eta} = \frac{440 \cdot 365 \cdot 0,85}{33,3 \cdot 10^3 \cdot 0,32} = 12,8 \frac{\text{т}}{\text{год}}$$

Найдём потребность в топливе за весь проектный срок:

$$\sum G = G_{0x} + 39G_x = 544.4 \text{ т}$$

Определим необходимое количество природного урана за весь проектный срок службы:

$$\sum G^{np} = \sum G_x \frac{x-y}{c-y} = 544,4 \cdot \frac{0,035-0,003}{0,0071-0,003} = 4248,98m$$

Найдём необходимое количество оксида урана (U3O8):

$$\sum G_{U_3O_8} = \sum \frac{G^{np}}{M(U_3O_8)} = \frac{4248,98}{0,842} = 5046,3m$$

По данным с сайта www.uxs.com на 27.04.2015 цена U3O8 составляет:

$$C_{U_3O_8} = 38,25 \frac{\$}{\text{фунт}} = 84341,3 \frac{\$}{m}$$

Найдём стоимость оксида урана для одного реактора за весь проектный срок службы:

$$\sum C_{U_3O_8} = C_{U_3O_8} \cdot \sum G_{U_3O_8} = 84341,3 \cdot 5046,3 = 425,6 \cdot 10^6 \$$$

Определение потребности в природном уране для всего парка ВВЭР-440 в Российской Федерации.

В настоящее время в России в эксплуатации находятся 6 блоков с реакторами данного типа. Найдём потребность всех блоков в природном уране за весь срок службы:

$$\sum_{i=1}^6 G_{U_3O_8} = n \cdot \sum G_{U_3O_8} = 6 \cdot 5046,3 = 30277,8m$$

Определение количества плутония, вырабатываемое всем парком реакторов ВВЭР-440 за весь проектный срок.

Воспользуемся данными лекции для определения коэффициента накопления реактора ВВЭР-440: КН=0,32

Найдём концентрацию плутония в выгруженном топливе:

$$Z = KH \cdot \alpha = 0,32 \cdot 35 = 11,2 \frac{кг}{m}$$

Найдём ежегодную выгрузку плутония:

$$G_{Pu} = Z \cdot G_x = 11,2 \cdot 12,8 = 143,4кг$$

Определим количество плутония в последней выгрузке:

$$G_{Pu}^{носл} = Z \cdot G_{0x} = 11,2 \cdot 45,21 = 506,3кг$$

В отличие от справочной величины последней выгрузки для ВВЭР-440, полученное значение получилось больше, т.к. принято меньшее среднее обогащение и, соответственно, большое значение выгорания.

Вычислим количество выгружаемого плутония за весь проектный срок эксплуатации:

$$\sum G_{Pu} = 39G_{Pu} + G_{Pu}^{носл} = 39 \cdot 143,4 + 506,3 = 6098,9кг$$

Найдём количество выгружаемого плутония для всего парка реакторов:

$$\sum_{i=1}^6 G_{Pu} = n \cdot \sum G_{Pu} = 6 \cdot 6098,9 = 36593,4кг$$

ОЯТ - извлеченные из активной зоны тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ) или их группы, тепловыделяющие сборки ядерных реакторов атомных электростанций и других установок.

В соответствии с приведённым определением ОЯТ является всё топливо, выгружаемое из реактора. Таким образом, всё загруженное топливо в реактор после отработанной кампании является ОЯТ. Следовательно, количество ОЯТ равно полной загрузке топлива в реактор в течение всего проектного срока службы.

Приведём в таблице стоимости изготовления и переработки (захоронения) топлива в долларах США за килограмм урана.

Цены переделов начальной стадии топливного цикла (2014 г.),  $\frac{\text{долл.}}{\text{кг т.м.}}$  ( $\frac{\text{долл.}}{\text{кг ЕРР}}$ )

Наименование	Цена в России	Цена мирового рынка
Уран	X	X
Конверсия	X	X
Обогащение	X	X
Изготовление топлива	X (тепловые реакторы) X (быстрые реакторы)	-

Цены переделов заключительной стадии топливного цикла (2014 г.),  $\frac{\text{долл.}}{\text{кг т.м.}}$

Наименование	Цена в России
Прямое захоронение	
Транспортировка и промежуточное хранение	X
Инкапсулирование и прямое захоронение	X
Переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ)	
Транспортировка и промежуточное хранение	X
Переработка ОЯТ	X
Остекловывание и захоронение РАО	X

Найдём стоимость каждого этапа ЯТЦ для России.  $n_{ЕРР}=4.339$

$$C_{\text{топл}} = G_x \cdot \frac{x-y}{c-y} \cdot 76\$ = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 7.8 \cdot 76 = 7.587 \cdot 10^6 \$$$

$$C_{\text{конв}} = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 7.8 \cdot 17 = 1.697 \cdot 10^6 \$$$

$$C_{\text{обогащ}} = G_x \cdot \frac{x-y}{c-y} \cdot 28\$ \cdot n_{ЕРР} = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 7.8 \cdot 17 \cdot 4.339 = 12.13 \cdot 10^6 \$$$

$$C_{\text{изг. топл.}} = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 510 = 6.53 \cdot 10^6 \$$$

$$C_{\text{транспл}} = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 50 = 6.4 \cdot 10^5 \$$$

$$C_{\text{перераб}} = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 750 = 9.6 \cdot 10^6 \$$$

$$C_{\text{остекл}} = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 90 = 1.15 \cdot 10^6 \$$$

$$C_{\text{итого}} = 32.506 \cdot 10^6 \$$$

Найдём годовую выработку электроэнергии:

$$W = N_g \cdot \varphi \cdot T_{\text{кал}} = 440 \cdot 0.85 \cdot 8760 = 3.28 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Вычислим стоимость топливной составляющей киловатт часа электроэнергии в России:

$$C = \frac{C_{\text{итого}}}{W} = \frac{32.506 \cdot 10^6}{3.28 \cdot 10^9} = 0.011 \frac{\$}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

Проведём аналогичный расчёт для топливной составляющей стоимости электроэнергии в США. Учтём, что в данной стране ОЯТ не перерабатывают, а отправляют на захоронение в специальные хранилища ОЯТ.

$$C_{топл} = G_x \cdot \frac{x-y}{c-y} \cdot 134\$ = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 7.8 \cdot 134 = 13.378 \cdot 10^6\$$$

$$C_{конв} = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 7.8 \cdot 11 = 1.098 \cdot 10^6\$$$

$$C_{обогащ} = G_x \cdot \frac{x-y}{c-y} \cdot 28\$ \cdot n_{ЭРР} = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 7.8 \cdot 147 \cdot 4.339 = 63.7 \cdot 10^6\$$$

$$C_{изг.топл.} = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 275 = 3.52 \cdot 10^6\$$$

$$C_{пром.хран.} = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 230 = 2.94 \cdot 10^6\$$$

$$C_{инкасс} = 12.8 \cdot 10^3 \cdot 610 = 7.8 \cdot 10^6\$$$

$$C_{итого} = 90.436 \cdot 10^6\$$$

$$W = N_3 \cdot \varphi \cdot T_{кал} = 440 \cdot 0.85 \cdot 8760 = 3.28 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$C = \frac{C_{итого}}{W} = \frac{92.436 \cdot 10^6}{3.28 \cdot 10^9} = 0.028 \frac{\$}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

В итоге получается, что стоимость топливной составляющей кВт×ч в США в 2 раза дороже, чем в России.

Заключение. В данной работе проведён расчёт топливных загрузок, стоимости топливной составляющей кВт×ч, а так же количества накопленного плутония и ОЯТ. Проведён сравнительный анализ между РФ и США при расчёте стоимости топливной составляющей.

#### **б) критерии оценивания компетенций (результатов):**

Критерии оценки:

- уровень освоения обучающимся материала, предусмотренного учебной программой;
- умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении заданий и задач;
- обоснованность, четкость, краткость изложения ответа.

#### **в) описание шкалы оценивания:**

**25-30 баллов** ставится, если:

- Задание решено правильно;
- ответ показывает понимание материала;
- обучающийся может обосновать свои суждения, применить знания на практике.

**21-24** ставится, если:

- Задание решено правильно с незначительными поправками;
- при ответе допускаются ошибки, заминки, которые обучающийся в состоянии исправить самостоятельно при наводящих вопросах;
- обучающийся затрудняется с ответами на 1-2 дополнительных вопроса.

**15-20** ставится, если:

- Входе решения задания была допущена ошибка;
- материал излагается непоследовательно;
- обучающийся не может применить теоретические знания на практике;
- на 50% дополнительных вопросов даны неверные ответы.

**0-15** Задание возвращается обучающемуся для переделывания.

### **8.2.4. Опрос**

#### **а) Пример устного опроса**

В чем заключается принцип метода газовой диффузии при разделении изотопов? Чему равен теоретический коэффициент разделения изотопов в этом методе? Чему равен коэффициент обогащения для одной ступени разделения и почему он отличается от теоретического?

*Ответ:* Для разделения изотопов урана невозможно применить обычные физико-химические методы, так как относительная разница масс изотопов в данном случае слишком мала. Поэтому в промышленных масштабах используются или отрабатываются на перспективу следующие основные методы обогащения урана.

#### *Метод газовой диффузии*

Используют различие скоростей теплового движения молекул изотопов при прохождении ими весьма малых по размерам пор и капилляров специальной пористой перегородки (газодиффузионного фильтра). Этот метод можно применять для разделения изотопов, находящихся в газообразном состоянии. В случае урана наиболее приемлемым является  $UF_6$ .

В настоящее время в промышленных масштабах обогащенный уран получается, главным образом, методами газовой диффузии и центрифугования. Согласно прогнозам Всемирной ядерной ассоциации (ВЯА), центрифужная технология в будущем займет доминирующее положение. В дальнейшем возможно опережающее развитие перспективной лазерной технологии изотопного обогащения урана, реализуемой в США консорциумом *GeneralElectric — HitachiGlobalLaserEnrichmentLLC*.

Эффекты разделения в единичной операции для этих молекулярно-кинетических методов сравнительно невелики. Для получения продукта с желаемой степенью обогащения требуется многократное повторение единичной операции. С этой целью разделительные элементы (газодиффузионные ступени или газовые центрифуги) соединяются по схеме противоточного каскада, обеспечивающего необходимое умножение единичного эффекта разделения.

Разделительные заводы могут иметь несколько точек питания для подачи гексафторида урана с различной концентрацией  $^{235}U$  и несколько точек для отбора продукта с различной степенью обогащения.

На питание разделительного завода подается поток исходного гексафторида урана (сырья)  $F$  (*Feed*- питание) с концентрацией  $c$ . Если используется природный уран, то  $c = c_0 = 0,711\%$ .

В точке питания газовый поток гексафторида урана раздваивается так, что каскад делится на две секции - обогащения и извлечения (регенеративную секцию). Вправо от точки питания вдоль разделительного каскада идет поток газа, непрерывно обогащаемый легким изотопом урана в процессе прохождения через разделительные ступени. Этот поток называется легкой фракцией. Поток легкой фракции из каждой разделительной ступени превышает возвращаемый в предыдущую ступень поток обедненного газа (тяжелой фракции) на расчетное значение потока  $P$  обогащенного урана (*Product* - продукт). В конце секции обогащения, где достигается заданная концентрация  $^{235}UX$  ( $x > c$ ), производится отбор указанного потока  $P$ .

Влево от точки питания движется поток гексафторида урана, непрерывно обедняемый легким изотопом  $^{235}U$  и соответственно обогащаемый тяжелым изотопом  $^{238}U$ . Здесь на каждой разделительной ступени поток тяжелой фракции превышает поток легкой фракции, движущийся в направлении к точке питания, на величину потока обедненного урана, извлекаемого в конце регенеративной секции. Обедненный уран с концентрацией  $^{235}U$ , равной  $Y$  ( $y < c$ ), образует отвал  $W$  (*Waste*- отвал, отбросы) разделительного производства.

Содержание в отвалах  $^{235}U$  определяет очень важную характеристику процесса - глубину извлечения  $^{235}U$  из исходного природного продукта. При содержании  $^{235}U$  в отвале  $Y = 0,25-0,30\%$  его извлечение из природного урана составляет в среднем 58-63%, при содержании  $^{235}U$  в отвале 0,2% извлечение может достичь 70%, а при  $Y = 0,1\%$  извлекается 86%. Соответственно снижается удельный расход природного урана.

Коэффициент расхода сырья (питания, в частном случае - природного урана)  $f$  для получения 1 кг обогащенного урана при заданной концентрации  $^{235}UX$  и содержании его в отвале  $Y$ . Он находится из уравнений материального баланса:

$$- \text{ по общей массе (питание = продукт + отвал): } F = P + W$$

– по массе изотопа  $^{235}\text{U}$ :  $c \times F = x \times P + y \times W$ .

Решая эту систему уравнений, находим:  $f = \frac{F}{P} = \frac{x-y}{c-y}$ .

Коэффициент расхода сырья получен здесь без учета материальных потерь, неизбежных в любом технологическом процессе. На разделительных заводах они составляют менее 0,5%.

Многочисленное повторение единичного эффекта разделения, как говорилось выше, реализуется в разделительном элементе. Для этого разделительные элементы соединяются в разделительный каскад. Ступенью каскада называется группа параллельно соединенных разделительных элементов (например, центрифуг). В газодиффузионном каскаде понятия ступени и разделительного элемента совпадают: ступенью является единичная газодиффузионная машина.

Процесс разделения смеси двух изотопов в разделительном элементе или разделительной ступени характеризуется коэффициентом разделения, который выражает отношение концентрации (массовой доли) изотопа  $^{235}\text{U}$  в бинарной смеси после процесса разделения к его концентрации в бинарной смеси перед осуществлением этого процесса.

Пусть на входе в разделительный элемент концентрация  $^{235}\text{U}$  в гексафториде урана равна  $c$ , а доля содержащегося в нем  $^{238}\text{U}$  составляет  $1-c$ . После разделения доля  $^{235}\text{U}$  в обогащенной фракции увеличится и станет равной  $x$ , а в обедненной фракции она уменьшится и составит  $y$ . Напротив, доля тяжелого изотопа  $^{238}\text{U}$  в обогащенной фракции уменьшится и будет равна  $1-x$ , тогда как в обедненной фракции она возрастет и станет равной  $1-y$ . Отношение долей легкого и тяжелого изотопов соответственно: на входе в разделительный элемент  $R = \frac{c}{1-c}$ ; в обогащенной фракции  $R' = \frac{x}{1-x}$  и в обедненной фракции  $R'' = \frac{y}{1-y}$ . Для характеристики качества работы разделительного элемента вводятся два коэффициента разделения: по обогащенной фракции  $\alpha$  и по обедненной фракции  $\beta$ :  $\alpha = \frac{R'}{R} = \frac{\frac{x}{1-x}}{\frac{c}{1-c}}$ ;  $\beta = \frac{R}{R''} = \frac{\frac{c}{1-c}}{\frac{y}{1-y}}$ .

Соответствующие им коэффициенты обогащения  $\varepsilon'$  и обеднения  $\varepsilon''$  определяются:  $\varepsilon' = \alpha - 1$ ,  $\varepsilon'' = \beta - 1$ .

В методе газовой диффузии используются различия в скоростях теплового движения тяжелых и легких молекул и закономерности молекулярного течения газа через тонкие пористые перегородки, в которых размер пор или капиллярных каналов меньше, чем средняя длина свободного пробега молекул.

В газовой смеси, имеющей одинаковую температуру  $T$ , средняя кинетическая энергия легких и тяжелых молекул одинакова:  $\frac{m_{\text{л}}V_{\text{л}}^2}{2} = \frac{m_{\text{т}}V_{\text{т}}^2}{2} = \frac{3}{2}kT$ , откуда  $\frac{V_{\text{л}}}{V_{\text{т}}} = \frac{\sqrt{m_{\text{т}}}}{\sqrt{m_{\text{л}}}}$ ,  $V_{\text{л}} > V_{\text{т}}$ , т.к.  $m_{\text{т}} > m_{\text{л}}$ , т.е. средняя скорость молекулы легкого газа при данной температуре будет больше средней скорости молекулы тяжелого газа.

Для обеспечения движения газа через капиллярные отверстия требуется создать напор газа с помощью соответствующих компрессоров. На привод компрессоров затрачивается значительная мощность, что характеризует газодиффузионный метод разделения изотопов урана как весьма энергоемкий процесс.

Идеальный (теоретический) коэффициент разделения  $\alpha_0$  смеси двух газов, диффундирующих сквозь пористую перегородку, определяется из соотношения:

$$\alpha_0 = \frac{\frac{x}{1-x}}{\frac{c}{1-c}} \approx \frac{V_{\text{л}}}{V_{\text{т}}} = \frac{\sqrt{m_{\text{т}}}}{\sqrt{m_{\text{л}}}} = \sqrt{\frac{m_{\text{л}} + \Delta m}{m_{\text{л}}}} \approx 1 + \frac{\Delta m}{2m_{\text{л}}}$$

В данном случае  $c$  - концентрация легких атомов до перегородки,  $x$  - после перегонки,  $\Delta m = m_{\text{т}} - m_{\text{л}}$ ,  $m_{\text{т}} = 352$ ,  $m_{\text{л}} = 349$  (молекулярные массы гексафторидов  $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$ ). Отсюда получаем максимальное (теоретическое) значение  $\alpha_0$ , основанное на различии средних скоростей теплового движения без учета влияния каких-либо иных факторов:  $\alpha_0 = 1,00429$ . Соответствующий коэффициент обогащения  $\varepsilon_0 = \alpha_0 - 1 \approx 0,0043$ .

Это означает, что на выходе из разделительного элемента при однократном пропускании

газа можно иметь концентрацию легкого изотопа урана, равную 1,0043 от его исходной концентрации (например, если на входе 0,711%, то на выходе  $\approx 0,714\%$ . Этот эффект разделения очень мал.

Реальные коэффициенты разделения  $\alpha$  и обогащения  $\varepsilon$  имеют существенно меньшие значения, чем  $\alpha_0$  и  $\varepsilon_0$ .  $\alpha \approx 1,0017$ ,  $\varepsilon = 0,0017$ .

Число ступеней разделительного каскада  $N$  для получения обогащения  $X$  при отвале с концентрацией  $^{235}\text{U}$   $Y$  определяется формулой:  $\alpha^N = (1 + \varepsilon)^N = \frac{x}{1-x} / \frac{y}{1-y}$ .

При малых значениях  $X$  и  $Y$ , учитывая также реальное весьма малое значение коэффициента обогащения  $\varepsilon$ , можно получить приближенное выражение для числа ступеней:  $N = \frac{1}{\varepsilon} \ln\left(\frac{x}{y}\right)$ .

**б) критерии оценивания компетенций (результатов):**

Ответ на заданный вопрос дают те, студенты, которых называет преподаватель. Ответ группируется по направлениям. Так, в данном примере дан комплексный ответ по трем направлениям. Следовательно, каждый студент может набрать максимально 15 баллов за ответ на вопрос № 36 типовых вопросов к зачету/экзамену. Каждый ответивший получает пять баллов, каждый не ответивший получается минус пять баллов. Таким образом, баллы каждого студента за опрос суммируются, и составляется пропорция, где сто процентов ответов на устный опрос (по пять баллов) составляют в соответствии с контрольными точками 10 баллов, а набранное количество баллов студентами –  $x$  баллов, тогда студент получает балл за опрос от 0 до 10. В случае, если студент имеет отрицательное значение по баллам за опрос, то на зачете/экзамене ему задаются дополнительные вопросы в соответствии с критериями оценивания компетенций, описанной выше для зачета/экзамена.

**в) описание шкалы оценивания:**

- от 9 до 10 баллов – отлично;
- от 7 до 8 баллов – хорошо;
- от 5 до 6 баллов – удовлетворительно;
- менее 5 баллов – неудовлетворительно.

При этом опрос в целом оценивается по 10 баллов и входит как оценочное средство контрольной точки № 1,2 девятого и А семестров.

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

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущий контроль осуществляется два раза в семестр: контрольная точка № 1 (КТ № 1) и контрольная точка № 2 (КТ № 2).

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

**10 семестр**

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
Текущий	Контрольная точка № 1		

	Домашняя работа № 1-3	10	20
	Опрос	8	10
	<b>Контрольная точка № 2</b>		
	Домашняя работа № 4-6	10	20
	Опрос	8	10
<b>Промежуточный</b>	<b>Зачет/Экзамен</b>		
	Зачет	24	40
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		60	100

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
Текущий	<b>Контрольная точка № 1</b>		
	Домашняя работа № 7	5	10
	Опрос	5	10
	<b>Контрольная точка № 2</b>		
	Индивидуальное домашнее задание № 1	18	30
	Опрос	8	10
<b>Промежуточный</b>	<b>Зачет/Экзамен</b>		
	Экзамен	24	40
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		60	100

Бонусы: поощрительные баллы студент получает к своему рейтингу в концесеместра за активную и регулярную работу на занятиях, в том числе при опросе в ходе контрольных точек. Бонус составляет 5 баллов.

По Положению бонус (премиальные баллы) не может превышать **5 баллов**.

Штрафы: за несвоевременную сдачу контрольных работ максимальная оценка может быть снижена на 10 баллов (или %).

Результаты работ проверяются лично преподавателем. О задании домашнего индивидуального задания студентам сообщается заранее за одно занятие до проведения. Устный опрос проводится на каждом практическом занятии и затрагивает как тематику прошедшего занятия, так и лекционный материал. Применяется групповое оценивание ответа или оценивание преподавателем.

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

### *а) основная учебная литература:*

1. Колбин, В.В. Математические методы коллективного принятия решений [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2015. – 256 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/60042> - Загл. с экрана
2. Колокольцов В. Н. Математическое моделирование многоагентных систем конкуренции и кооперации (Теория игр для всех) [Электронный ресурс]: / Колокольцов В. Н., О.А. Малафеев. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2012. — 623 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=3551](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3551) – Загл. с экрана.
3. Эксплуатационные режимы АЭС: учебное пособие / Р.П. Баклушин. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский дом МЭИ, 2012, - 532 с., ил. (250 экз.)

### *б) дополнительная учебная литература:*

1. Синев Н.М. Экономика ядерной энергетики. М.: Энергоатомиздат, 1987.

2. Андрианов А. А. Ядерная энергетика - основа энергетической безопасности в будущем: технико-экономические и социально-политические проблемы развития энергетики : монография / А. А. Андрианов, Ю. А. Коровин, В. М. Мурогов. - М. : Бюро-Квантум, 2010. - 304 с. : ил.(22 экз)
3. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. - М.: ИздАТ, 2000 – 384с.
4. Шевелев Я.В., Клименко А.В. Эффективная экономика ядерного топливно-энергетического комплекса. - М.: РГГУ, 1996 –736с.
5. Лисичкин Ю.В., Осецкая М.М. Сборник типовых задач и упражнений по курсу «Экономика ядерной энергетики»: Обнинск, 2009.

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

Федеральная служба государственной статистики [Официальный сайт]. —

<http://ibooks.ru/>

<http://e.lanbook.com/>

<http://www.biblio-online.ru/>

<http://kuperbook.biblioclub.ru>

<http://www.studentlibrary.ru>

<http://library.mephi.ru>

## **11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

В ходе изучения дисциплины студентам рекомендуется вечером того дня, когда было проведено занятие прочитать лекцию или просмотреть решение задач на семинаре, также за десять минут до начала лекции или семинара за 10 минут также прочитать предыдущую лекцию и просмотреть материалы семинара. Данные рекомендации обусловлены исследованием Эббингауза.

В соответствии с кривой забывания Эббингауза разработаны следующие режимы повторения для наилучшего запоминания:

Режимы повторения для наилучшего запоминания:

Если есть два дня:

первое повторение — сразу по окончании чтения;

второе повторение — через 20 минут после первого повторения;

третье повторение — через 8 часов после второго;

четвёртое повторение — через 24 часа после третьего.

Если нужно помнить очень долго:

первое повторение — сразу по окончании чтения;

второе повторение — через 20-30 минут после первого повторения;

третье повторение — через 1 день после второго;

четвёртое повторение — через 2-3 недели после третьего;

пятое повторение — через 2-3 месяца после четвёртого повторения

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

В ходе изучения дисциплины используется стандартный пакет MSOfficeExcel.

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

В ходе изучения дисциплины студенту необходимо быть собранным и сконцентрированным, при себе на занятии иметь «мозг», тетрадь, ручку, микрокалькулятор (желателен).

Специализированных средств технического оснащения не требуется, т.к. контрольные работы с использованием MS Office Excel отсутствуют.

### 14. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И (ИЛИ) МАТЕРИАЛЫ

#### 14.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

№ пп	Наименование темы дисциплины	Вид занятий (лекция, семинары, практические занятия)	Количество ак. ч.	Наименование активных и интерактивных форм проведения занятий
1	Общие вопросы развития ядерной энергетики	лекция	1	Активная
2	Ядерный топливный цикл. Основные понятия и определения	лекция, семинар	3	Активная, интерактивная
3	Органическое топливо	лекция, семинар	1,5	Активная, интерактивная
4	Ядерное топливо. Специфика ядерного топлива	лекция, семинар	1,5	Активная, интерактивная
5	Конструкционные формы ядерного топлива	лекция, семинар	1,5	Активная, интерактивная
6	Особенности ядерного топлива	лекция, семинар	2	Активная, интерактивная
7	Глубина выгорания	лекция, семинар	3	Активная, интерактивная
8	Потребность реактора в ядерном топливе	лекция, семинар	3	Активная, интерактивная
9	Неравномерность выгорания по реактору	лекция, семинар	3	Активная, интерактивная
10	Энергонапряженность	лекция, семинар	3	Активная, интерактивная
11	Режимы перегрузок ядерного топлива в реакторах	лекция, семинар	2,5	Активная, интерактивная
12	Вклад плутония в энерговыработку	лекция, семинар	3	Активная, интерактивная
13	Потребности в ядерном топливе с учетом рецикла	лекция, семинар	3	Активная, интерактивная
14	Методы обогащения урана	лекция, семинар	3	Активная,

№ пп	Наименование темы дисциплины	Вид занятий (лекция, семинары, практические занятия)	Количество ак. ч.	Наименование активных и интерактивных форм проведения занятий
				интерактивная
15	Основные понятия теории разделения изотопов	лекция, семинар	4	Активная, интерактивная
16	Работа по разделению изотопов	лекция, семинар	8	Активная, интерактивная
17	Цена обогащенного урана	лекция, семинар	5	Активная, интерактивная
18	Затраты на изготовление ТВЭЛОВ	лекция, семинар	3	Активная, интерактивная
19	Экономика регенерации отработавшего топлива	лекция, семинар	3	Активная, интерактивная
20	Себестоимость энергии	лекция, семинар	6	Активная, интерактивная
21	Топливная составляющая себестоимости энергии	лекция, семинар	9	Активная, интерактивная
22	Постоянная составляющая себестоимости энергии	лекция, семинар	4	Активная, интерактивная
23	Расходы на техническое обслуживание и ремонт	лекция, семинар	8	Активная, интерактивная
24	Цены на электроэнергию	лекция, семинар	6	Активная, интерактивная
25	Оценка эффективности капиталовложений	лекция, семинар	6	Активная, интерактивная
26	Перспективы улучшения экономических показателей АЭС	лекция, семинар	6	Активная, интерактивная

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

№ пп	Наименование темы дисциплины	Вопрос	Количество ак. ч.	Форма проверки
1	Общие вопросы развития ядерной энергетики	Вопросы № 1-8 типовых вопросов к зачету	2	Устный опрос
2	Ядерный топливный цикл. Основные понятия и определения	Вопросы № 9-10 типовых вопросов к зачету	2	Устный опрос, домашнее задание № 1
3	Органическое топливо	Вопросы № 11-21 типовых вопросов к зачету	1	Устный опрос, домашнее задание № 2
4	Ядерное топливо. Специфика ядерного топлива	Вопросы № 22-23 типовых вопросов к зачету	1	Устный опрос, домашнее задание № 2
5	Конструкционные формы ядерного топлива	Вопрос № 24 типовых вопросов к	1	Устный опрос, домашнее задание

№ пп	Наименование темы дисциплины	Вопрос	Количество ак. ч.	Форма проверки
		зачету		№ 2
6	Особенности ядерного топлива	Вопросы № 22-25, 27 типовых вопросов к зачету	1	Устный опрос, домашнее задание № 2
7	Глубина выгорания	Вопрос № 26 типовых вопросов к зачету	1	Устный опрос, домашнее задание № 3
8	Потребность реактора в ядерном топливе	Вопрос № 26 типовых вопросов к зачету	2	Устный опрос, домашнее задание № 3
9	Неравномерность выгорания по реактору	Вопросы № 22-27 типовых вопросов к зачету	1	Устный опрос, домашнее задание № 3
10	Энерго-напряженность	Вопросы № 22-27 типовых вопросов к зачету	1	Устный опрос, домашнее задание № 3
11	Режимы перегрузок ядерного топлива в реакторах	Вопросы № 22-27 типовых вопросов к зачету	1	Устный опрос, домашнее задание № 3
12	Вклад плутония в энерговыработку	Вопрос № 27 типовых вопросов к зачету	1	Устный опрос, домашнее задание № 4
13	Потребности в ядерном топливе с учетом рецикла	Вопрос № 28-31,33,34 типовых вопросов к зачету	1	Устный опрос, домашнее задание № 4
14	Методы обогащения урана	Вопросы № 32,36-40 типовых вопросов к зачету	2	Устный опрос, домашнее задание № 5,6
15	Основные понятия теории разделения изотопов	Вопросы № 36-40 типовых вопросов к зачету	1	Устный опрос, домашнее задание № 5,6
16	Работа по разделению изотопов	Вопросы № 36-41 типовых вопросов к зачету	2	Устный опрос, домашнее задание № 5,6
17	Цена обогащенного урана	Вопрос № 43 типовых вопросов к зачету	1	Устный опрос, домашнее задание № 5,6
18	Себестоимость энергии	Вопрос № 43 типовых вопросов к зачету	8	Устный опрос, домашнее задание № 7, индивидуальное домашнее задание № 1
19	Топливная составляющая себестоимости энергии	Вопрос № 44 типовых вопросов к зачету	10	Индивидуальное домашнее задание № 1
20	Цены на электроэнергию	Вопрос № 47 типовых вопросов к зачету	1	Устный опрос, домашнее задание № 7
21	Оценка эффективности	Вопрос № 42	2	Устный опрос,

№ пп	Наименование темы дисциплины	Вопрос	Количество ак. ч.	Форма проверки
	капиталовложений	типовых вопросов к зачету		домашнее задание № 7

### 14.3. Краткий терминологический словарь

**Глубина выгорания**, или удельная энерговыработка – количество тепловой энергии, выделяемой единицей массы ядерного топлива за весь период использования его в реакторе.

**Массовая энергонапряженность** – интенсивность сжигания топлива в реакторе.

**Эффективная кампания топлива** – время, необходимое для достижения необходимой глубины выгорания топлива при работе на номинальной мощности.

**КВ**(коэффициент воспроизводства) – отношение количества вновь образующихся делящихся нуклидов к количеству разделившихся.

**КВ дифференциальный** – отношение скорости образования делящихся нуклидов к скорости их убыли за определенный момент времени.

**КВ интегральный** - усредненный за определенный отрезок времени (например, за период эффективной кампании топлива) коэффициент воспроизводства делящихся нуклидов, учитывающий все сопровождающие этот процесс ядерные реакции, включая деление образовавшегося  $^{239}\text{Pu}$ , его превращение в  $^{240}\text{Pu}$ , образование из  $^{240}\text{Pu}$  делящегося  $^{241}\text{Pu}$ , а из него неделящегося  $^{242}\text{Pu}$  и другие реакции.

**КН (коэффициент накопления)** – концентрация плутония в выгруженном топливе, отнесенная к количеству произведенной энергии, или глубине выгорания.

**КВЦ (коэффициент возврата ядерного топлива в цикл)** - отношение вернувшегося в реактор топлива с обогащением  $\chi$  к полному количеству топлива, пошедшего на переработку.

**РР (работа разделения)** - величина, характеризующая меру физических усилий, совершаемых при разделении изотопов. За единицу работы разделения (ЕРР) принимается работа разделения, равная 1 кг., т.е. 1 кг РР = 1 ЕРР. ЕРР является специфической единицей измерения, применяемой только в промышленном производстве обогащенного урана и не имеет никакой связи с килограммом, которым измеряют массу.

## 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 так же, 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 так же 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 составил:

\_\_\_\_\_ М.М.Осецкая, доцент, канд.экон.наук

Рецензент:

\_\_\_\_\_ М.А.Аленных, доцент, канд.экон.наук