

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

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине**

**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.**

## **Область применения**

Фонд оценочных средств (ФОС) – является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины «Экономика ядерно-топливного цикла» и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

## **Цели и задачи фонда оценочных средств**

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине «Основы экономики ядерного-топливного цикла» решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков предусмотренных в рамках данного курса;
- контроль и оценка степени освоения компетенций, предусмотренных в рамках данного курса;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данного курса.

## 1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

### 1.1. 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

### 1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОП

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Место дисциплины и соответствующий этап формирования компетенций в целостном процессе подготовки по образовательной программе можно определить по матрице компетенций.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

- **начальный** этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;
- **основной** этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но еще не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен

самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;

- **завершающий** этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объем знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

Этапы формирования компетенций в ходе освоения дисциплины отражаются в тематическом плане (см.п. 4 рабочей программы дисциплины).

### **1.3. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине**

<b>№ п/п</b>	<b>Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)</b>	<b>Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка</b>	<b>Наименование оценочного средства</b>
<b>Текущий контроль</b>			
1	Общие проблемы развития энергетики	Способность использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4)	Домашняя работа № 1
2	Работа энергоустановок на органическом топливе	Готовность эффективно взаимодействовать со специалистами смежных профилей (ПСК-1) Способность использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4)	Домашняя работа № 2
3	Работа ЯЭУ	Готовность эффективно взаимодействовать со специалистами смежных профилей (ПСК-1) Способность использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4)	Домашняя работа № 3
4	Расход, воспроизводство и наработка ядерного топлива	Готовность эффективно взаимодействовать со специалистами смежных профилей (ПСК-1) Способность использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4)	Домашняя работа № 4
5	Потребности ядерной энергетики в ресурсах природного урана	Готовность эффективно взаимодействовать со специалистами смежных профилей (ПСК-1) Способность использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4)	Домашняя работа № 5
6	Экономика получения обогащенного урана	Готовность эффективно	Домашняя работа № 6

		взаимодействовать со специалистами смежных профилей (ПСК-1) Способность использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4)	
7	Экономика АЭС	Способность использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4) Готовность эффективно взаимодействовать со специалистами смежных профилей (ПСК-1)	Домашняя работа № 7
8	Расчет топливной составляющей себестоимости электроэнергии. Произведенной на АЭС, в учетом типа реактора	Способность использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4)	Индивидуальное домашнее задание № 1
<b>Промежуточный контроль</b>			
9	зачет	Способность использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4) Готовность эффективно взаимодействовать со специалистами смежных профилей (ПСК-1)	Вопросы, задачи
<b>Итоговый контроль</b>			
10	экзамен	Способность использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4) Готовность эффективно взаимодействовать со специалистами смежных профилей (ПСК-1)	Вопросы, задачи
Всего:10			

## 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п.1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы.

Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

Уровни	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня	БРС, % освоения	ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета
<b>Высокий</b> <i>Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Творческая деятельность	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий	90-100	A/ Отлично/ Зачтено
<b>Продвинутый</b> <i>Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения.	85-89	B/ Очень хорошо/ Зачтено
			75-84	C/ Хорошо/ Зачтено
<b>Пороговый</b> <i>Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне</i>	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.	65-74	D/Удовлетворительно/ Зачтено
			60-64	E/Посредственно/ Зачтено
<b>Ниже порогового</b>	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ Зачтено

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации.

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства и приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице. При этом следует понимать, что граница между уровнями для конкретных результатов освоения образовательной программы может смещаться.

Уровень сформированности компетенции	Текущий контроль	Промежуточная аттестация
высокий	<b>высокий</b>	<b>высокий</b>
	<i>продвинутый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>продвинутый</i>
продвинутый	<i>пороговый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>пороговый</i>
	<b>продвинутый</b>	<b>продвинутый</b>
	<i>продвинутый</i>	<i>пороговый</i>
	<i>пороговый</i>	<i>продвинутый</i>
пороговый	<b>пороговый</b>	<b>пороговый</b>
ниже порогового	<b>пороговый</b>	<b>ниже порогового</b>
	<b>ниже порогового</b>	-

### 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков 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	<b>Контрольная точка № 1</b>		
	Домашняя работа № 1-3	10	20
	Опрос	8	10
	<b>Контрольная точка № 2</b>		
	Домашняя работа № 4-6	10	20
	Опрос	8	10
Промежуточный	<b>Зачет/Экзамен</b>		
	Зачет	24	40
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		60	100

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное	Балл
--------------	---------------------------------------	------

	средство	Минимум	Максимум
<b>Текущий</b>	<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>		<b>60</b>	<b>100</b>

Бонусы: поощрительные баллы студент получает к своему рейтингу в конце семестра 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.

#### **4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков**

##### **4.1. Зачет**

Зачет проводится устно и включает в себя ответ на один теоретический вопрос и решение двух задач из различных разделов курса.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 1**

1. Каковы масштабы современного потребления энергии в мире и РФ? Каковы темпы ежегодного прироста потребления энергии?
2. 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).
3. Определить коэффициент накопления: а) для теплового реактора с  $KВ = 0,6$ , если в течение кампании расходуется половина наработанного плутония; б) для быстрого реактора с  $KВ = 1,5$ , если за кампанию выгорает 20% от первоначального количества делящихся изотопов.

Составитель

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Д.С.Самохин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 2**

1. 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 энергетики глубокого извлечения  $^{235}\text{U}$  при обогащении природного урана?
2. Сколько стоит начальная загрузка реактора CANDU с природным ураном (мощность 34000 МВт 9т0т, выгорание 6 кг/т,  $T_{эф.} = 1$  год), если цена урана 100 долл./кг, стоимость ТВЭЛ 120 долл./кг ( $U$ ).
3. 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,  $\sigma_r/\sigma_f = 0,2$ .

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 3**

1. Методы оценки эффективности капиталовложений, срок окупаемости, прибыль, рентабельность. Метод приведенных затрат, нормативный коэффициент эффективности капиталовложений. Дисконтирование. Особенности применения метода приведенных затрат в ядерной энергетике.
2. Определить стоимость ТВС реактора с мощностью 3200 МВт (т),  $B = 18000 \text{ МВт} \times \text{сут./т}$ ,  $T_{эф.} = 1080$  суток, при  $x = 1,8\%$ ,  $y = 0,3\%$ , число ТВС в активной зоне 1700 шт., стоимость природного урана 80 долл./кг, разделительной работы 100 долл./ЕРР, изготовления ТВЭЛ и ТВС 80 долл./кг.
3. Оценить процент использования  $^{238}\text{U}$  в реакторе на природном уране с  $KB = 0,8$ : а) при коэффициенте размножения на быстрых нейтронах 1,04, если в процессе работы делится 60% всех делящихся изотопов в реакторе; б) при коэффициенте размножения на быстрых нейтронах 1,03, если стационарная работа реактора с непрерывной перегрузкой топлива обеспечивается при средней концентрации делящихся изотопов 5 кг/т.

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 4**

1. 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?
2. Определить топливную составляющую себестоимости 1 кВт×ч (э) для однозонного быстрого реактора с уран-плутониевым топливом  $x = 20\%$ ,  $y = 0,3\%$ . Принять цены на природный уран 80 долл./кг, разделительную работу 100 долл./ЕРР, и изготовление ТВЭЛ 80 долл./кг ( $U$ ), выгорание 100 000 МВт×сут./т, к.п.д. 0,4.
3. Найти концентрацию делящихся изотопов а) в отработанном топливе реактора на природном уране при выгорании 8 кг/т,  $KB = 0,7$  и коэффициенте размножения на быстрых нейтронах 1,03; б) в начальном и отработанном топливе реактора с непрерывной перегрузкой, в котором стационарная работа реактора на номинальной мощности обеспечивается при среднем выгорании топлива 10 кг/т и средней концентрацией делящихся изотопов в топливе 13 кг/т,  $KB = 0,5$

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 5**

1. Каковы прогнозные оценки относительно уровня стабилизации населения Земли и среднедушевого энергопотребления? Через какой промежуток времени (примерно) должна произойти эта стабилизация?
2. Доля АЭС в производстве электроэнергии в СССР была равна примерно 12%, а во Франции – 70%. На какую величину потребовалось бы увеличить установленную мощность АЭС в СССР, чтобы достичь одинакового с Францией уровня развития электроэнергетики? (Установленную мощность всех электростанций СССР принять равной 350 ГВт).
3. Определить коэффициент накопления плутония а) в отработанном топливе реактора с  $K_B = 0,7$  при достижении удельного энерговыделения  $1000 \text{ МВт} \times \text{сут./т}$ , если за кампанию расходуется  $1 \text{ кг/т } ^{235}\text{U}$ ; б) для реактора ВВЭР – 1000 ( $x = 4,4\%$ ), с  $K_B = 0,55$ , выгорание  $40000 \text{ МВт} \times \text{сут./т}$ , содержанием  $^{235}\text{U}$  в отработанном топливе  $12 \text{ кг/т}$ .

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 6**

1. Насколько существенно различается энергоёмкость 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?
2. В Бельгии стоимость электроэнергии, вырабатываемой на ТЭС, в среднем в 1,6 раза выше, чем на АЭС. В 1989 г. на АЭС Бельгии было произведено 40 млрд. кВт×ч, что составило 60% всего производства электроэнергии. Полученная за счет использования ядерной энергии экономия в этом году оценивалась, по крайней мере, в 13 млрд. бельгийских франков. Какая экономия была бы получена, если бы вся электроэнергия производилась на АЭС?
3. Какое удельное энерговыделение было достигнуто, если в отработанном топливе реактора на природном уране с  $K_B = 0,8$  концентрация  $^{235}\text{U}$  2 кг/т и  $Pu$  3 кг/т. (Учсть деление  $^{238}\text{U}$  с коэффициентом размножения на быстрых нейтронах 1,05

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 7**

1. 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?
2. Какой уровень потребления энергоресурсов был бы достигнут в мире к 2020 г. при ежегодных темпах прироста: энергопотребления на человека 4%, населения Земли 2,2% (Принять за начало отсчета 1990 г., численность населения Земли 5 млрд. чел., объем мирового энергопотребления 10 млрд. т.у.т.).
3. Оценить максимальную наработку плутония (в расчете на кг разделившегося  $^{235}\text{U}$ ) в реакторе на тепловых нейтронах с  $K_{\text{В}} = 0,7$

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 8**

1. Каковы ресурсы органического топлива в мире и РФ? Какой процент из них реально извлекаем? Какова современная ситуация с запасами угля, нефти, газа, урана, тория?
2. По прогнозным оценкам в ближайшие 100 лет произойдет стабилизация населения Земли и среднедушевого потребления энергоресурсов. Считая, что население Земли будет порядка 10 млрд. чел., стран ЕС 400 млн. человек, а среднедушевое потребление энергоресурсов составит примерно 20 т.у.т./чел. в год., оцените, во сколько раз соответствующее годовое энергопотребление будет выше современного а) в мире (современное –  $0,35 Q/\text{год}$ ); б) в странах ЕС (примерно –  $0,06 Q/\text{год}$ ).
3. Определить ежегодный относительный прирост вторичного ядерного топлива в реакторе - размножителе на быстрых нейтронах с  $KB = 1,5$ , если за 5 лет его работы выгорает масса делящихся изотопов, равная их полной загрузке.

Составитель

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Д.С.Самохин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 9**

1. Чему равны энергоресурсы потенциальных источников возобновляемой энергии? Каковы основные проблемы, связанные с широкомасштабным внедрением источников возобновляемой энергии? Являются ли эти источники в действительности экологически чистыми?
2. Общее количество солнечной энергии, падающей на Землю в течение суток, эквивалентно примерно 540 млрд. т.у.т. Достигает поверхности Земли около половины этой энергии (другая половина отражается и поглощается атмосферой). Определите среднюю плотность потока солнечной энергии на поверхности Земли.
3. Найти КВ реактора РБМК при достижении выгорания топлива 20 кг/т с содержанием делящихся изотопов в отработанном топливе 5 кг/т. Начальное обогащение топлива 1,8%

Составитель

\_\_\_\_\_

(подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_

(подпись)

Д.С.Самохин

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

Образовательная программа «Ядерные реакторы»

программа

Дисциплина Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 10**

1. Техничко-экономические показатели АЭС и себестоимость производимой энергии. Себестоимость продукции. Включает ли она затраты на расширенное воспроизводство? 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?
2. Посредством фотосинтеза может быть усвоена лишь та часть солнечной энергии, которая попадает на биологически активные поверхности, составляющие около 10% всей площади Земли: а) предполагая, что эффективность образования органического топлива за счет фотосинтеза равна 10% с учетом того, что Общее количество солнечной энергии, падающей на Землю в течение суток, эквивалентно примерно 540 млрд. т.у.т. Достигает поверхности Земли около половины этой энергии (другая половина отражается и поглощается атмосферой), оцените возможный темп ежегодного накопления запасов органического топлива; б) сколько органического топлива было бы накоплено на Земле за все время ее существования (около 5 млрд. лет)?
3. Оценить количество  $^{236}\text{U}$ , накапливающегося в отработанном топливе реактора ВВЭР – 440 ( $x=3,3\%$ ) при выгорании 29000 МВт $\times$ сут./т, если известно  $K_B = 0,52$  и содержание плутония в отработанном топливе 9 кг/т.

Составитель

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_  
(подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 11**

1. 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?
2. В 1985 г. мировое потребление органического топлива составляло примерно 9 млрд. т.у.т., а его прирост за этот год около 2,5 %: а) используя гауссовскую модель энергопотребления, оцените максимальный уровень годового энергопотребления органического топлива и время его достижения для двух случаев: 1) учитывая общие ресурсы этого топлива  $\approx 15\,000$  млрд. т.у.т. (доказанные + вероятные); 2) учитывая только доказанные ресурсы  $\approx 3300$  млрд. т.у.т.; б) сделайте то же для нефти, считая, что в 1985 г. ее потребление было около 3,7 млрд. т.у.т., а прирост – 2,5%; общие ресурсы нефти  $\approx 1700$  млрд. т.у.т.; доказанные  $\approx 300$  млрд. т.у.т.
3. Рассчитать суммарный КВ для реактора на быстрых нейтронах с номинальной мощностью 1500 МВт (т), 90% которой выделяется в активной зоне. В реакторе используется уран-плутониевое топливо с концентрацией плутония 22%, КВ активной зоны 0,9, выгорание 100 кг/т, к.и.м. 0,8, наработка избыточного плутония составляет приблизительно 150 кг/год

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 12**

1. 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?
2. Мировое потребление органического топлива в 1973 г. составляло 7,4 млрд. т.у.т., а в 1985 г. – 9 млрд. т.у.т. Оцените годовое потребление топлива и его прирост в 2000 г., считая, что ресурсы органического топлива на Земле не превышают 3000 млрд. т.у.т.
3. Определить годовой расход топлива и соответствующую стоимость: а) на АЭС номинальной мощностью 3000 МВт (т), имеющей к.и.м. 0,85,  $KB = 0,5$ , содержание  $^{235}U$  в начальном топливе 2%, суммарная концентрация делящихся изотопов ( $^{235}U + Pu$ ) в отработанном топливе 7 кг/т. Цена начального топлива 10000 руб./кг; б) для реактора на природном уране мощностью 1500 МВт (т), имеющего  $KB = 0,7$ , к.и.м. 0,8, конечную концентрацию делящихся изотопов в выгружаемом топливе 5 кг/т (учесть деление  $^{238}U$  быстрыми нейтронами с коэффициентом размножения 1,03). Цена топлива из природного урана 3000 руб./кг; в) на Билибинской АТЭС, имеющей 4 блока, каждый из которых вырабатывает по номиналу 12 МВт электроэнергии и 26 Гкал/ч тепла ос средним за год коэффициентом полезного использования 0,58 (к.и.м. 0,85, удельная энерговыработка 8000 МВт×сут./т). Цена топлива 12000 руб./кг

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 13**

1. В чем состоят главные экологические проблемы ядерного топливного цикла?
2. Оценить годовой расход кислорода и количество углекислого газа при годовом потреблении органического топлива в мире на уровне 30 млрд. т.у.т. Сравнить с содержанием кислорода (21%) и углекислого газа (0,03%) в атмосфере.
3. Найти стоимость годовой наработки избыточного плутония, при цене плутония 200 000 руб./кг: а) в годовой выгрузке отработанного топлива реактора ВВЭР – 440 (к.п.д. 0,32, к.и.м. 0,8, КВ = 0,57, В = 29000 МВт×сут./т, начальная концентрация  $^{235}\text{U}$  в топливе 35 кг/т, конечная 9 кг/т); б) в реакторе ВВЭР – 1000 (к.п.д. 0,33, время между перегрузками 300 эффективных суток, выгорание отработанного топлива 40000 МВт×сут./т, начальная концентрация  $^{235}\text{U}$  44 кг/т, конечная 12,6 кг/т, суммарная концентрация делящихся изотопов в отработанном топливе 20 кг/т); в) в реакторе на быстрых нейтронах мощностью 3000 МВт (т) (к.и.м. 0,8, выгорание 80 кг/т, уран – плутониевое топливо с содержанием делящегося плутония 16%,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,25$ , КВ = 1,4, КВ активной зоны 0,9, коэффициент размножения на быстрых нейтронах  $^{238}\text{U}$  1,08.

Составитель

\_\_\_\_\_

(подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_

(подпись)

Д.С.Самохин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 14**

1. Современная структура топливно-энергетического баланса (ТЭБ) нашей страны. Какими причинами обусловлено снижение доли нефти в ТЭБ страны в последние годы? Чем обусловлена возрастающая роль природного газа в ТЭБ нашей страны? Какая доля транспортных перевозок приходится у нас на перевоз органического топлива?
2. Оценить время удвоения средней концентрации углекислого газа в атмосфере при ежегодном приросте потребления органического топлива 4%. За начало принять 1985 г. с мировым потреблением энергии 10 млрд. т.у.т. и концентрацией  $CO_2$  в атмосфере 0,03%.
3. Оценить стоимость суммарной массы делящихся изотопов в годовой выгрузке топлива, при их цене 180 000 руб./кг: а) реактора на природном уране мощностью 1000 МВт (э), к.п.д. 0,28, к.и.м. 0,8, КВ = 0,8, В = 7000 МВт×сут./т, коэффициент размножения на быстрых нейтронах  $^{238}U$  1,03; б) в реакторе ВВЭР мощностью 3000 МВт (т), КВ = 0,5, перегрузка каждые 300 эффективных суток, масса  $^{235}U$  в загружаемом ежегодно свежем топливе 1 т.

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 15**

1. 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?
2. Оценить площадь поверхности солнечных термоэмиссионных преобразователей с к.п.д. 10% для солнечной электростанции, мощностью 1000 МВт (э), расположенной в районе экватора. Общее количество солнечной энергии, падающей на Землю в течение суток, эквивалентно примерно 540 млрд. т.у.т. Достигает поверхности Земли около половины этой энергии (другая половина отражается и поглощается атмосферой).
3. Какой уровень выгорания необходим для реактора с природным ураном мощностью 3000 МВт (т), к.и.м. 0,9, КВ = 0,8, чтобы обеспечить наработку 200 кг  $^{239}\text{Pu}$  в год при содержании  $^{235}\text{U}$  в обработанном топливе 3 кг/т

Составитель

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_  
(подпись) Д.С.Самохин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 16**

1. 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?
2. Оценить площадь земной поверхности, необходимую для обеспечения мировых потребностей в энергии (0,35 Q/год), только за счет солнечной энергии, при следующих значениях коэффициента полезного использования: 100%, 10%, 5%, 1%. Общее количество солнечной энергии, падающей на Землю в течение суток, эквивалентно примерно 540 млрд. т.у.т. Достигает поверхности Земли около половины этой энергии (другая половина отражается и поглощается атмосферой).
3. Оценить номинальную мощность и стоимость годового расхода уран-плутониевого топлива быстрым реактором с выгоранием 100 кг/т и  $K_B = 1,4$ ,  $K_B$  активной зоны = 0,9,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,2$ , производящего 200 кг избыточного делящегося плутония в год при цене уран-плутониевого топлива 40 000 руб./кг

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 17**

1. 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?
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 ( $K_{с.н.}$ ) составил 8%, стоимость условного топлива – 375 руб. /т.у.т., цена отпущенной энергосбытовым организациям электроэнергии – 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 электроэнергии и затратами на топливо
3. Составить годовой баланс изотопов урана и плутония для реактора РБМК – 1000 (к.п.д. 0,31, к.и.м. 0,8,  $B = 20000$  Мвт×сут./т,  $KВ = 0,5$ , начальное обогащение 2%, содержание  $^{239}Pu$  в отработанном топливе 2 кг/т.

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 18**

1. 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.
2. ГРЭС номинальной мощностью 1000 МВт (э) отработала за год 60 суток на 50% мощности, 208 суток на 80% мощности, 72 суток на номинальной мощности. Остальное время станция не работала. а) найти годовую энерговыработку и выручку за отпущенную потребителю электроэнергию, если  $K_{CH} = 5\%$ , цена отпущенной энергии 45 руб./ кВт×ч; б) найти средний за год к.и.м.
3. В реакторе на быстрых нейтронах мощностью 1000 МВт (т), с эффективной кампанией 1 г (одноразовая перегрузка), глубина выгорания 50 кг/т, уран-плутониевого топлива с 20% содержанием  $^{239}Pu$ , КВ активной зоны = 0,9,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,2$ , масса урана в экране 15 т.

Найдите: а) среднюю концентрацию плутония в экране за кампанию для наработки избыточного плутония 100 кг/год; б) общий КВ этого реактора.

Составитель

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_  
(подпись) Д.С.Самохин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 19**

1. Особенности производства электрической и тепловой энергии. Чем обусловлена жесткая связь производства и потребления энергии во времени? На сколько существенны суточная, недельная и сезонная неравномерности потребления энергии? Чем определяется необходимость иметь значительные резервные мощности энергоустановок? Что такое базовые, пиковые и полупиковые нагрузки?
2. Число часов использования установленной мощности ГРЭС с номинальной мощностью 700 МВт (э) равно 6800 часов за календарный год. При этом станцией было израсходовано 4 млн. т. угля с теплотворной способностью 3500 ккал/кг и стоимостью 300 руб./т. а) найти удельный расход топлива (как угля, так и у.т.) б) найти затраты на уголь и топливную составляющую себестоимости вырабатываемого и отпущенного кВт × ч (э),  $K_{CH} = 8\%$ .
3. 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).

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 20**

1. Общие технико-экономические характеристики энергоустановок. Среднегодовой коэффициент использования установленной мощности (КИУМ.). 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? 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?
2. Определить годовой расход условного топлива при работе ГРЭС номинальной мощностью 1500 МВт (э) с к.п.д. 0,35 и средним к.и.м. 0,75. Найти удельный расход топлива и топливную составляющую себестоимости выработанного кВт×ч (э) при цене 600 руб./т.у.т.
3. Определить потребности в ресурсах природного урана и его стоимость при цене 800 руб./кг, а также общее количество отработанного топлива за срок службы 30 лет (концентрацию  $^{235}\text{U}$  в отвале принять равной 0,26%): а) для реактора LWR – 1000 (к.п.д. 0,34, к.и.м. 0,8,  $V = 30400 \text{ МВт} \times \text{сут./т}$ , обогащение свежего топлива 3%, эффективная кампания топлива 900 суток с тремя частичными перегрузками); б) для реактора РБМК – 1500 (тепловая мощность 4800 МВт, к.и.м. 0,85,  $V = 18100 \text{ МВт} \times \text{сут./т}$ , обогащение свежего топлива 1,8%, эффективная кампания топлива 690 суток). Найти для этого случая также содержание плутония в отработанном топливе, если содержание  $^{235}\text{U}$  в нем 3,8 кг/т,  $K_B = 0,55$ .

Составитель

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Д.С.Самохин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 21**

1. Основные особенности ядерной энергии. Чем обусловлена чрезвычайно высокая энергия продуктов ядерных реакций? 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?
2. ТЭС с тепловой мощностью 3000 МВт должна работать в течение года со средним к.и.м. 0,8 и к.п.д. 0,37. Рассмотрим три варианта возможного топлива а) мазут с теплотой сгорания  $\omega_m = 9500$  ккал/кг, стоимость с учетом доставки  $\Pi_m = 30$  руб./т; б) низкокалорийный уголь  $\omega_y = 3000$  ккал/кг,  $\Pi_y = 250$  руб./т; в) природный газ  $\omega_g = 8500$  ккал/м<sup>3</sup>,  $\Pi_g = 1000$  руб./1000 м<sup>3</sup>. Определить для каждого вида топлива годовой расход топлива, общую стоимость топлива с учетом доставки, топливную составляющую себестоимости выработанного 1 кВт×ч (э).
3. Определить стоимость потребности в ресурсах урана (концентрация <sup>235</sup>U в отвале 0,26%) и их возможную экономию за счет возвращения урана в цикл при цене природного урана 750 руб./кг: а) для реактора ВВЭР – 1000 (к.п.д. 0,32, В = 40000 МВт×сут/т, к.и.м. 0,8, обогащение свежего топлива 4,4%, концентрация <sup>235</sup>U в отработанном топливе 13 кг/т, эффективная кампания 900 суток, срок службы 50 лет); б) для быстрого однозонного реактора (мощность 3000 МВт (т), В = 80000 МВт×сут./т, КВ = 1, КН = 0,4,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,2$ , обогащение свежего топлива 18%, эффективная кампания топлива 450 суток, 3 перегрузки за кампанию, срок службы 30 лет).

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 22**

1. 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×сут. тепловой энергии? В каком виде применяется ядерное топливо в реакторах? Что такое твэл? Что такое твс?
2. Сколько железнодорожных составов потребуется для перевозки угля ( $\omega = 3000$  ккал/кг), чтобы обеспечить работу в течение года ГРЭС номинальной мощностью 1000 МВт (э), если к.п.д. 0,37, к.и.м. 0,8, средняя масса железнодорожного состава 3000 т? Сколько стоит один железнодорожный состав поезда и какова топливная составляющая себестоимости выработанного 1 кВт×ч (э). Стоимость угля с учетом доставки принять 300 руб./т. Считается, что 25% сжигаемого на ГРЭС топлива остается в виде несгоревших шлаков и золы, определите количество железнодорожных составов для вывоза шлаков в течение года.
3. Реактор на быстрых нейтронах мощностью 3000 МВт (т) с кампанией 333 эффективных суток и средней энергонапряженностью 240 кВт/кг ( $U$ ) запускается на уране с обогащением 18%. Перегрузки топлива ежегодные одноразовые  $K_B = 1,3$ ,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,2$ , концентрация  $^{235}\text{U}$  в выгружаемом топливе 13%, в отвале 0,26%. Определить потребность этого реактора в природном уране и его стоимость при цене 850 руб./кг до наработки плутония в достаточном количестве для формирования уран-плутониевой загрузки и перехода на самообеспечение (пренебречь разницей эффективности  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ ).

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 23**

1. 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?
2. ТЭЦ с номинальной тепловой мощностью 2000 МВт и общим к.п.д. 0,5 выработала за год 4 млрд. кВт×ч электроэнергии и отпустила потребителю 2 млн. Гкал низкопотенциального тепла с отработанным паром. Определить коэффициент использования тепла и к.и.м. ТЭЦ.
3. 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, КВ = 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, В = 40000 МВт×сут./т, КН = 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.

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 24**

1. Что такое удельная энерговыработка, 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 твэла связана с массовой энергонапряженностью топлива? Каковы примерно стоимость ядерного топлива, ежегодной подпитки реактора и полной загрузки в ЯЭУ?
2. Себестоимость единицы низкопотенциального тепла, вырабатываемого на привозной нефти для северных районов Канады примерно 8 цент/ кВт×ч (т), а для центральных районов – 4 цент/ кВт×ч (т) а) определить мощность котельной, обеспечивающей потребности в отоплении с общим объемом 100 Гкал/час при средней эффективности производства и передачи тепла 50%; б) определить разницу себестоимостей всего выработанного в этой котельной за год тепла для северных и центральных районов, если средний к.и.м. 80%.
3. В реакторе LWR –  $1000 \text{ KB} = 0,65$ ,  $B = 30400 \text{ MBт} \times \text{сут.}/\text{т}$ , содержание  $^{235}\text{U}$  в отработанном топливе 8 кг/т, начальное обогащение 3%, содержание  $^{235}\text{U}$  в отвале 0,26%: а) найти наработку плутония; б) найти возможную экономию ресурсов с рециклом как  $^{235}\text{U}$ , так и  $^{239}\text{Pu}$ .

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 25**

1. Особенности ядерного топлива. Что такое дифференциальный и интегральный коэффициент воспроизводства? Коэффициент накопления? Какова динамика накопления плутония с ростом выгорания?
2. Найти топливную составляющую себестоимости 1Гкал тепла, отпущенного котельной потребителю при средней эффективности (к.п.д. нетто) 0,6, если котельная использует уголь с  $\omega = 5000$  ккал/кг по цене 500 руб./т.
3. В реакторе  $LWR - 1000 \text{ KB} = 0,65$ ,  $B = 30400 \text{ МВт} \times \text{сут./т}$ , содержание  $^{235}\text{U}$  в отработанном топливе 8 кг/т, начальное обогащение 3%, содержание  $^{235}\text{U}$  в отвале 0,26%: а) найти наработку плутония; б) найти возможную экономию ресурсов с рециклом как  $^{235}\text{U}$ , так и  $^{239}\text{Pu}$ .

Составитель

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Д.С.Самохин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 26**

1. Расширенное воспроизводство ядерного топлива в реакторах - размножителях. Особенности экранного цикла для быстрых реакторов. Коэффициент прироста топлива для реакторов – размножителей.
2. На ТЭЦ номинальной мощностью 5000 МВт (т) и средним к.и.м. 0,5. Половина выработанной тепловой энергии (как отработанный в турбине пар) отпускается для теплосети. Какой средний электрический к.п.д. ТЭЦ при годовой выработке электроэнергии  $5 \times 10^9$  кВт·ч?
3. В реакторе LWR –  $k_{\text{eff}} = 0,65$ ,  $V = 30400$  МВт·сут./т, содержание  $^{235}\text{U}$  в отработанном топливе 8 кг/т, начальное обогащение 3%, содержание  $^{235}\text{U}$  в отвале 0,26%: а) найти наработку плутония; б) найти возможную экономию ресурсов с рециклом как  $^{235}\text{U}$ , так и  $^{239}\text{Pu}$ .

Составитель

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_  
(подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 27**

1. 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?
2. К.п.д. ТЭС номинальной мощностью 1000 МВт (т), работающей на каменном угле, при установке устройства для удаления соединений веры из дымовых газов снижется примерно на 1%. Какой минимальный штраф за единицу установленной тепловой мощности необходимо ввести в случае отсутствия устройств для удаления серы, чтобы эксплуатировать ТЭС без этих устройств было экономически невыгодно? Для оценок принять средний годовой к.и.м. ТЭС 0,7, а цену отпускаемой энергосбытовым организациям электроэнергии – 2,5 руб./ кВт×ч.
3. При каком значении КВ возможно самообеспечение развивающейся ядерной энергетики на быстрых реакторах с ежегодным темпом прироста мощностей 10%. Топливо быстрых реакторов – уран-плутониевое с содержанием  $^{239}\text{Pu}$  14% , выгоранием 100 кг/т, к.и.м. 0,85,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,2$ , эффективной кампанией топлива 450 суток. Рассмотреть варианты со временем внешнего цикла 1-2 года.

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 28**

1. 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?
2. Оценить расход кислорода и количество образующегося углекислого газа при работе в течение срока службы 30 лет ГРЭС мощностью 1000 МВт (э), имеющей средний к.и.м. – 0,8 и средний к.п.д. 0,37. Оценить наносимый окружающей среде экономический ущерб, исходя из расчета 100 руб./т расходуемого из атмосферы кислорода и 300 руб./т выбрасываемого углекислого газа.
3. Определить КВ реакторов на быстрых нейтронах с параметрами предыдущей задачи, обеспечивающих время удвоения мощностей развивающейся ядерной энергетики на этих реакторах 10 лет при времени внешнего цикла переработки 1 год.

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

**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

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 29**

1. 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?
2. Оценить плотность ядерного вещества; ее отношение к средней плотности Земли; радиус земного шара, если бы плотность Земли равнялась плотности ядерного вещества. (Масса Земли  $5,98 \times 10^{24}$  кг, радиус Земли  $6,37 \times 10^6$  м).
3. Оценить время удвоения мощностей ядерной энергетики с реакторами на быстрых нейтронах. Топливо - уран-плутониевое с содержанием  $^{239}\text{Pu}$  12%,  $V = 95000$  МВт $\times$ сут./т, КВ = 1,325, к.и.м. 1,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,2$ , эффективная кампания топлива 1 год и время внешнего цикла 2 года.

Составитель

\_\_\_\_\_

(подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_

(подпись)

Д.С.Самохин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 30**

1. 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?
2. Определить выделяемую энергию при делении 1 г  $^{235}\text{U}$ , при термоядерном синтезе 1 г дейтерий-тритиевой смеси и при аннигиляции 1 г вещества. Какому количеству условного топлива эквивалентны эти энергии?
3. 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  $^{235}\text{U}$  в отвале): а)  $x = 4,4\%$ ,  $y = 0,3\%$ ; б)  $x = 4,4\%$ ,  $y = 0,2\%$ ; в)  $x = 2\%$ ,  $y = 0,2\%$ .

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_ (подпись)

Д.С.Самохин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 31**

1. 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?
2. Оценить полное число образующихся нейтронов а) при делении 100 г  $^{235}\text{U}$  с помощью внешнего источника нейтронов; б) при делении 100 г  $^{235}\text{U}$ , являющегося частью системы, в которой происходит самоподдерживающаяся цепная реакция; в) при термоядерном синтезе 100 г дейтерий-тритиевой смеси. Какую энергию в каждом случае уносят нейтроны? (Принять, что в одном акте деления  $^{235}\text{U}$  образуется в среднем 2,5 нейтрона)
3. Определить объем и стоимость разделительной работы при цене 250 руб./ЕРР для получения 1 кг урана с концентрацией  $^{235}\text{U}$  - 0,711% из отвального урана с концентрацией 0,36% при новой концентрации отвального урана  $u = 0,2\%$ .

Составитель

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Д.С.Самохин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 32**

1. 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?
2. Реактор АЭС с номинальной мощностью 3000 МВт (т) отработал один эффективный год. Определить: а) массы разделившихся и накопившихся ядер, израсходованных делящихся ядер, образовавшихся  $^{236}\text{U}$  и  $^{240}\text{Pu}$ , считая, что 30% мощности получается за счет  $^{239}\text{Pu}$ ,  $(\sigma_r/\sigma_f)_s = 0,2$ ,  $(\sigma_r/\sigma_f)_o = 0,4$ ; б) во сколько раз эта масса больше массы осколков деления, образующихся при взрыве атомной бомбы мощностью 20 килотонн тринитротолуола; в) насколько уменьшилась за это время первоначальная масса топливной загрузки; г) выручку за отпущенную электроэнергию, если цена 50 руб./ кВт × ч,  $K_{CH} = 7\%$ .
3. Определить потребность в разделительной работе и ее стоимость при цене 2200 руб./ЕРР с  $y = 0,3\%$ , на весь срок службы 50 лет: а) для реактора РБМК – 1000 (мощностью 3200 МВт (т), выгоранием 19 кг/т,  $x = 1,8\%$ , к.и.м. 0,85,  $T_{эф.} = 1080$  суток); б) для реактора ВВЭР – 1000 (к.п.д. 0,33, средней энергонапряженностью 46 МВт/кг,  $T_{эф.} = 3$  года), использующего для первой загрузки топливо с  $x = 3,3\%$ , а для последующих ежегодный частичных перегрузок с  $x = 4,4\%$

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 33**

1. 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.
2. Оценить возможный экономический эффект от разделительной переработки топлива активной зоны при стоимости хим.переработки 500 долл./кг (активной зоны), экрана – 300 долл./кг по сравнению с совместной переработкой по 500 долл./кг для реактора на быстрых нейтронах с уран-плутониевым топливом при содержании плутония в отработанном топливе 160 кг/т, в экране 30 кг/т, выгорание 80 000 МВт×сут./т, КВ = 1,3 ( $K_{В.з.} = 0,9$ ).
3. Найти объем и стоимость разделительной работы при цене 2000 руб./ЕРР для реакторов ВВЭР – 1000 с  $x = 4,4\%$  и  $y = 0,2\%$  без рецикла и с рециклом ( $K_{ВЦ} = 0,22$ ,  $x_k = 1,2\%$ ).

Составитель

\_\_\_\_\_

(подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_

(подпись)

Д.С.Самохин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

**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**

Специальность 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

Образовательная программа «Ядерные реакторы»

программа

Дисциплина Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 34**

1. 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?
2. При проектировании строительства АЭС номинальной электрической мощностью 1000 МВт рассматриваются три варианта. 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.

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

3. Оценить объем и стоимость разделительной работы при цене 2500 руб./ЕРР для реактора БН-350 с урановой загрузкой при  $x = 20\%$ ,  $y = 0,3\%$ . Принять к.п.д. 0,4,  $V = 60000 \text{ МВт} \times \text{сут./г}$ , к.и.м. 0,85,  $T_{эф.} = 450$  суток.

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_ (подпись)

Д.С.Самохин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

**Экзаменационный билет № 35**

1. 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 применяется в нашей стране? Назовите основные факторы, определяющие прибыль и рентабельность в ядерной энергетике.
2. 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: а) удельную энерговыработку (в МВт×сут./т); б) глубину выгорания (в кг/т); в) среднюю массовую энергонапряженность при эффективной кампании топлива 3 года; г) стоимость топлива для перезагрузки при цене 20 000 руб./кг.
3. Оценить мощность и стоимость продукции газодиффузионного завода, обеспечивающего обогащенным ураном с  $x = 4,4\%$ ,  $y = 0,3\%$  50 блоков ВВЭР – 1000 в год. Какой при этом годовой расход электроэнергии, если удельный расход 2750 кВт×ч/ЕРР, цена природного урана составляет 800 руб./кг, цена разделительной работы 2500 руб./ЕРР.

Составитель

\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ОП

Д.С.Самохин

\_\_\_\_\_ (подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

### Критерии оценки и шкала оценивания:

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36-40	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала;</li><li>- исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал;</li><li>- правильно формулировать определения;</li><li>- продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой;</li><li>- уметь сделать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Хорошо 30-35	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать достаточно полное знание программного материала;</li><li>- продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;</li><li>- продемонстрировать умение ориентироваться в литературе;</li><li>- уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Удовлетворительно 25-29	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать общее знание изучаемого материала;</li><li>- показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.</li></ul>
Неудовлетворительно 24 и меньше	Студент демонстрирует: <ul style="list-style-type: none"><li>- незнание значительной части программного материала;</li><li>- не владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- существенные ошибки при изложении учебного материала;</li><li>- неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- неумение делать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>

## 4.2. Домашняя работа

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

Специальность 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

Образовательная программа «Ядерные реакторы»

программа

Дисциплина Основы экономики ядерного-топливного цикла

## Комплект заданий для домашней работы

по дисциплине «Экономика ядерной энергетики»

### Домашняя работа № 1

1. Считая, что в 1990 г. потребление первичных энергоресурсов на душу населения в год примерно составляло в СССР – 7 т.у.т./чел.год, США – 11 т.у.т./чел.год, Западной Европе – 5 т.у.т./чел.год, оцените а) сколько лет потребовалось бы СССР и Западной Европе, чтобы достичь уровня энергопотребления США 1990 г., если ежегодный прирост энергопотребления будет 3 %; б) какой ежегодный прирост необходим, чтобы в течение 10 лет СССР и Западная Европа достигли уровня энергопотребления США 1990 г.; в) когда было бы достигнуто одинаковое энергопотребление в СССР и США, США и Западной Европе, если бы темпы ежегодного прироста были в США 1%, СССР 2%, Западной Европе 3%.

2. Энергоемкость единицы валового внутреннего продукта (ВВП) в СССР была в 1,5 раза выше, чем в США и в 2 раза, чем в Японии. Уровень годового энергопотребления в СССР был около 2 млрд. т.у.т., причем доля нефти составляла примерно 40%, а угля 25%. Определите возможную ежегодную экономию нефти и угля, которую можно было бы получить в СССР при достижении эффективности использования а) как в США; б) как в Японии.

3. Какой уровень потребления энергоресурсов был бы достигнут в мире к 2010 г. при ежегодных темпах прироста: энергопотребления на человека 4%, населения Земли 2,2% (Принять за начало отсчета 1990 г., численность населения Земли 5 млрд. чел., объем мирового энергопотребления 10 млрд. т.у.т.). Ответ: 34,29 млрд. т.у.т. в год или в 3,43 раза.

4. По прогнозным оценкам в ближайшие 100 лет произойдет стабилизация населения Земли и среднедушевого потребления энергоресурсов. Считая, что население Земли будет порядка 10 млрд. чел., стран ЕС 400 млн. человек, а среднедушевое потребление энергоресурсов составит примерно 20 т.у.т./чел. в год, оцените, во сколько раз соответствующее годовое энергопотребление будет выше современного а) в мире (современное – 0,35 Q/год); б) в странах ЕС (примерно – 0,06 Q/год).

5. Общее количество солнечной энергии, падающей на Землю в течение суток, эквивалентно примерно 540 млрд. т.у.т. Достигает поверхности Земли около половины этой энергии (другая половина отражается и поглощается атмосферой). Определите среднюю плотность потока солнечной энергии на поверхности Земли.

6. Оценить годовой расход кислорода и количество углекислого газа при годовом потреблении органического топлива в мире на уровне 30 млрд. т.у.т. Сравнить с содержанием кислорода (21%) и углекислого газа (0,03%) в атмосфере.

7. Оценить время удвоения средней концентрации углекислого газа в атмосфере при ежегодном приросте потребления органического топлива 4%. За начало принять 1985 г. с мировым потреблением энергии 10 млрд. т.у.т. и концентрацией  $CO_2$  в атмосфере 0,03%.

8. Число случаев с летальным исходом в США в год оценивается: от курения 150 тыс. человек, от работы на АЭС – 100 человек. Установленная мощность АЭС США – 100 ГВт (э), годовое производство электроэнергии на АЭС – 530 млрд. кВт×ч.а) оценить число случаев с летальным исходом в США в расчете на 1 ГВт×год (э), произведенной на АЭС электроэнергии; б) какими должны были быть в США установленная мощность АЭС и годовое производство электроэнергии на АЭС, чтобы преждевременная смертность, обусловленная работой АЭС, стала сравнимой со смертностью от курения

9. Коллективная доза облучения людей в результате последствий аварии на Чернобыльской АЭС, по имеющимся оценкам, лежит в диапазоне от  $3 \times 10^7$  до  $2 \times 10^8$  чел.бэр. При облучении дозой в 1 бэр вероятность умереть от рака составляет  $1,2 \times 10^{-4}$  (в течение срока порядка 50 лет). а) оценить диапазон возможного числа погибших от рака вследствие Чернобыльской аварии; б) сравнить с числом жертв автомобильных катастроф (в нашей стране – порядка 30 000 чел./год).

## Домашняя работа № 2

1. 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 ( $K_{с.н.}$ ) составил 8%, стоимость условного топлива – 375 руб. /т.у.т., цена отпущенной энергосбытовым организациям электроэнергии – 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

2. ГРЭС номинальной мощностью 1000 МВт (э) отработала за год 60 суток на 50% мощности, 208 суток на 80% мощности, 72 суток на номинальной мощности. Остальное время станция не работала.а) найти годовую энерговыработку и выручку за отпущенную потребителю электроэнергию, если  $K_{сн} = 5\%$ , цена отпущенной энергии 45 руб./кВт×ч;б) найти средний за год к.и.м.

3. Число часов использования установленной мощности ГРЭС с номинальной мощностью 700 МВт (э) равно 6800 часов за календарный год. При этом станцией было израсходовано 4 млн. т. угля с теплотворной способностью 3500 ккал/кг и стоимостью 300 руб./т.а) найти удельный расход топлива (как угля, так и у.т.)б) найти затраты на уголь и топливную составляющую себестоимости вырабатываемого и отпущенного кВт×ч (э),  $K_{сн} = 8\%$ .

4. Определить годовой расход условного топлива при работе ГРЭС номинальной мощностью 1500 МВт (э) с к.п.д. 0,35 и средним к.и.м. 0,75. Найти удельный расход топлива и топливную составляющую себестоимости выработанного кВт×ч (э) при цене 600 руб./т.у.т.

5. ТЭС с тепловой мощностью 3000 МВт должна работать в течение года со средним к.и.м. 0,8 и к.п.д. 0,37. Рассмотрим три варианта возможного топливаа) мазут с теплотой сгорания  $\omega_m = 9500$  ккал/кг, стоимость с учетом доставки  $\Pi_m = 30$  руб./т;б) низкокалорийный уголь  $\omega_y = 3000$  ккал/кг,  $\Pi_y = 250$  руб./т;в) природный газ  $\omega_z = 8500$  ккал/м<sup>3</sup>,  $\Pi_z = 1000$  руб./1000 м<sup>3</sup>. Определить для каждого вида топлива годовой расход топлива, общую стоимость топлива с учетом доставки, топливную составляющую себестоимости выработанного 1 кВт×ч (э).

6. ТЭЦ с номинальной тепловой мощностью 2000 МВт и общим к.п.д. 0,5 выработала за год 4 млрд. кВт×ч электроэнергии и отпустила потребителю 2 млн. Гкал низкопотенциального тепла с отработанным паром. Определить коэффициент использования тепла и к.и.м. ТЭЦ.

7. Найти топливную составляющую себестоимости 1 Гкал тепла, отпущенного котельной потребителю при средней эффективности (к.п.д. нетто) 0,6, если котельная использует уголь с  $\omega = 5000$  ккал/кг по цене 500 руб./т.

8. На ТЭЦ номинальной мощностью 5000 МВт (т) и средним к.и.м. 0,5. Половина выработанной тепловой энергии (как отработанный в турбине пар) отпускается для теплосети. Какой средний электрический к.п.д. ТЭЦ при годовой выработке электроэнергии  $5 \times 10^9$  кВт×ч?

9. К.п.д. ТЭС номинальной мощностью 1000 МВт (т), работающей на каменном угле, при установке устройства для удаления соединений серы из дымовых газов снижется примерно на 1%. Какой минимальный штраф за единицу установленной тепловой мощности необходимо ввести в случае отсутствия устройств для удаления серы, чтобы эксплуатировать ТЭС без этих устройств было экономически невыгодно? Для оценок принять средний годовой к.и.м. ТЭС 0,7, а цену отпускаемой энергосбытовыми организациями электроэнергии – 2,5 руб./кВт×ч.

### Домашняя работа № 3

1. Оценить плотность ядерного вещества; ее отношение к средней плотности Земли; радиус земного шара, если бы плотность Земли равнялась плотности ядерного вещества. (Масса Земли  $5,98 \times 10^{24}$  кг, радиус Земли  $6,37 \times 10^6$  м).

2. Определить выделяемую энергию при делении 1 г  $^{235}\text{U}$ , при термоядерном синтезе 1 г дейтерий-тритиевой смеси и при аннигиляции 1 г вещества. Какому количеству условного топлива эквивалентны эти энергии?

3. Реактор АЭС с номинальной мощностью 3000 МВт (т) отработал один эффективный год. Определить: а) массы разделившихся и накопившихся ядер, израсходованных делящихся ядер, образовавшихся  $^{236}\text{U}$  и  $^{240}\text{Pu}$ , считая, что 30% мощности получается за счет  $^{239}\text{Pu}$ ,  $(\sigma_r/\sigma_f)_5 = 0,2$ ,  $(\sigma_r/\sigma_f)_9 = 0,4$ ; б) выручку за отпущенную электроэнергию, если цена 50 руб./кВт×ч,  $K_{CH} = 7\%$ .

4. Гомогенный реактор на тепловых нейтронах работает на мощности 1200 МВт (т). Найти: а) скорость деления ядер в активной зоне этого реактора; б) среднюю плотность потока нейтронов, если загрузка реактора по  $^{235}\text{U}$  – 400 кг, среднее по спектру тепловых нейтронов в реакторе микроскопическое сечение деления  $^{235}\text{U}$  – 350 барн. Ролью плутония пренебречь.

5. Реактор БН-600 (к.п.д. 0,4) работает на номинальной мощности при средней плотности потока нейтронов  $6 \times 10^{15}$  н/(см<sup>2</sup>сек) ( $\sigma_f = 1,9$  барн). Рассчитать загрузку по массе делящихся изотопов.

6. ЯЭУ мощностью 1000 МВт (т) отработала год со средним к.и.м. 0,55. Оценить: а) расход делящихся ядер с учетом радиационного захвата нейтронов (среднее по спектру тепловых нейтронов отношение  $(\sigma_r/\sigma_f) = 0,17$ ); б) расход и стоимость мазута ( $\omega_m = 9500$  ккал/кг) и низкокалорийного угля ( $\omega_y = 2500$  ккал/кг) для выработки такого же количества тепловой энергии при цене  $\Pi_m = 1000$  руб./т,  $\Pi_y = 250$  руб./т.

7. ЯЭУ с реактором на тепловых нейтронах потребляет 0,3 кг  $^{235}\text{U}$  в сутки. Найти: а) мощность, на которой она работает; б) израсходованную за год работы массу  $^{235}\text{U}$ , которая не дала вклада в энергоснабжение. Вкладом  $\text{Pu}$  в энергоснабжение пренебречь.

8. 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: а) удельную энергоснабжение (в МВт×сут./т); б) глубину выгорания (в кг/т); в) среднюю массовую энергонапряженность при эффективной кампании топлива 3 года; г) стоимость топлива для перезагрузки при цене 20 000 руб./кг.

9. Оценить годовую потребность в топливе и ее стоимость: а) для реактора РБМК – 1000 (к.п.д. 0,31, к.и.м. 0,8, среднее выгорание  $B = 19000$  МВт×сут./т, цена топлива 10 000 руб./кг);

б) для реактора ВВЭР – 440 (к.п.д. 0,32, к.и.м. 0,76, средняя глубина выгорания  $\alpha = 30$  кг/т ( $U$ ), цена топлива 15 000 руб./кг).

## Домашняя работа № 4

1. 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,  $\sigma_r/\sigma_f = 0,2$ .

2. Оценить процент использования  $^{238}\text{U}$  в реакторе на природном уране с  $KB = 0,8$ : а) при коэффициенте размножения на быстрых нейтронах 1,04, если в процессе работы делится 60% всех делящихся изотопов в реакторе; б) при коэффициенте размножения на быстрых нейтронах 1,03, если стационарная работа реактора с непрерывной перегрузкой топлива обеспечивается при средней концентрации делящихся изотопов 5 кг/т.

3. Определить коэффициент накопления плутония а) в отработанном топливе реактора с  $KB = 0,7$  при достижении удельного энерговыделения 1000 МВт×сут./т, если за кампанию расходуется 1 кг/т  $^{235}\text{U}$ ; б) для реактора ВВЭР – 1000 ( $x = 4,4\%$ ), с  $KB = 0,55$ , выгорание 40000 МВт×сут./т, содержанием  $^{235}\text{U}$  в отработанном топливе 12 кг/т.

4. Какое удельное энерговыделение было достигнуто, если в отработанном топливе реактора на природном уране с  $KB = 0,8$  концентрация  $^{235}\text{U}$  2 кг/т и  $Pu$  3 кг/т. (Учесть деление  $^{238}\text{U}$  с коэффициентом размножения на быстрых нейтронах 1,05)

5. Определить ежегодный относительный прирост вторичного ядерного топлива в реакторе - размножителе на быстрых нейтронах с  $KB = 1,5$ , если за 5 лет его работы выгорает масса делящихся изотопов, равная их полной загрузке.

6. Найти  $KB$  реактора РБМК при достижении выгорания топлива 20 кг/т с содержанием делящихся изотопов в отработанном топливе 5 кг/т. Начальное обогащение топлива 1,8%

7. 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.

8. Определить годовой расход топлива и соответствующую стоимость: а) на АЭС номинальной мощностью 3000 МВт (т), имеющей к.и.м. 0,85,  $KB = 0,5$ , содержание  $^{235}\text{U}$  в начальном топливе 2%, суммарная концентрация делящихся изотопов ( $^{235}\text{U} + Pu$ ) в отработанном топливе 7 кг/т. Цена начального топлива 10000 руб./кг; б) для реактора на природном уране мощностью 1500 МВт (т), имеющего  $KB = 0,7$ , к.и.м. 0,8, конечную концентрацию делящихся изотопов в выгружаемом топливе 5 кг/т (учесть деление  $^{238}\text{U}$  быстрыми нейтронами с коэффициентом размножения 1,03). Цена топлива из природного урана 3000 руб./кг; в) на Билибинской АТЭС, имеющей 4 блока, каждый из которых вырабатывает по номиналу 12 МВт электроэнергии и 26 Гкал/ч тепла ос средним за год коэффициентом полезного использования 0,58 (к.и.м. 0,85, удельная энерговыработка 8000 МВт×сут./т). Цена топлива 12000 руб./кг

9. Найти стоимость годовой наработки избыточного плутония, при цене плутония 200 000 руб./кг: а) в годовой выгрузке отработанного топлива реактора ВВЭР – 440 (к.п.д. 0,32, к.и.м. 0,8,  $KB = 0,57$ ,  $B = 29000$  МВт×сут./т, начальная концентрация  $^{235}\text{U}$  в топливе 35 кг/т, конечная 9 кг/т); б) в реакторе ВВЭР – 1000 (к.п.д. 0,33, время между перегрузками 300 эффективных суток, выгорание отработанного топлива 40000 МВт×сут./т, начальная концентрация  $^{235}\text{U}$  44 кг/т, конечная 12,6 кг/т, суммарная концентрация делящихся изотопов в отработанном топливе 20 кг/т); в) в реакторе на быстрых нейтронах мощностью 3000 МВт (т) (к.и.м. 0,8, выгорание 80 кг/т, уран – плутониевое топливо с содержанием делящегося плутония

16%,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,25$ ,  $K_B = 1,4$ ,  $K_B$  активной зоны 0,9, коэффициент размножения на быстрых нейтронах  $^{238}U$  1,08.

## Домашняя работа № 5

1. 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,  $V = 18000$  МВт×сут./т, обогащение свежего топлива 1,8%, эффективная кампания топлива 1080 сут.); б) для тяжеловодного реактора на природном уране (тепловая мощность 3200 МВт,  $V=7500$  МВт×сут./т, к.и.м. 0,8, эффективная кампания топлива 1 год).

2. Определить потребности в ресурсах природного урана и его стоимость при цене 800 руб./кг, а также общее количество отработанного топлива за срок службы 30 лет (концентрацию  $^{235}U$  в отвале принять равной 0,26%): а) для реактора LWR – 1000 (к.п.д. 0,34, к.и.м. 0,8,  $V = 30400$  МВт×сут./т, обогащение свежего топлива 3%, эффективная кампания топлива 900 суток с тремя частичными перегрузками); б) для реактора РБМК – 1500 (тепловая мощность 4800 МВт, к.и.м. 0,85,  $V = 18100$  МВт×сут./т, обогащение свежего топлива 1,8%, эффективная кампания топлива 690 суток). Найти для этого случая также содержание плутония в отработанном топливе, если содержание  $^{235}U$  в нем 3,8 кг/т,  $K_B = 0,55$ .

3. Определить стоимость потребности в ресурсах урана (концентрация  $^{235}U$  в отвале 0,26%) и их возможную экономию за счет возвращения урана в цикл при цене природного урана 750 руб./кг: а) для реактора ВВЭР – 1000 (к.п.д. 0,32,  $V = 40000$  МВт×сут./т, к.и.м. 0,8, обогащение свежего топлива 4,4%, концентрация  $^{235}U$  в отработанном топливе 13 кг/т, эффективная кампания 900 суток, срок службы 50 лет); б) для быстрого однозонного реактора (мощность 3000 МВт (т),  $V = 80000$  МВт×сут./т,  $K_B = 1$ ,  $K_H = 0,4$ ,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,2$ , обогащение свежего топлива 18%, эффективная кампания топлива 450 суток, 3 перегрузки за кампанию, срок службы 30 лет).

4. Реактор на быстрых нейтронах мощностью 3000 МВт (т) с кампанией 333 эффективных суток и средней энергонапряженностью 240 кВт/кг ( $U$ ) запускается на уране с обогащением 18%. Перегрузки топлива ежегодные одноразовые  $K_B = 1,3$ ,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,2$ , концентрация  $^{235}U$  в выгружаемом топливе 13%, в отвале 0,26%. Определить потребность этого реактора в природном уране и его стоимость при цене 850 руб./кг до наработки плутония в достаточном количестве для формирования уран-плутониевой загрузки и перехода на самообеспечение (пренебречь разницей эффективности  $^{235}U$  и  $^{239}Pu$ ).

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,  $K_B = 1,4$ ). 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,  $V = 40000$  МВт×сут./т,  $K_H = 0,18$ ): 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.

6. В реакторе LWR – 1000  $K_B = 0,65$ ,  $V = 30400$  МВт×сут./т, содержание  $^{235}U$  в отработанном топливе 8 кг/т, начальное обогащение 3%, содержание  $^{235}U$  в отвале 0,26%: а) найти наработку плутония; б) найти возможную экономию ресурсов с рециклом как  $^{235}U$ , так и  $^{239}Pu$ .

7. Оценить максимальный уровень мощности развивающейся ядерной энергетики с реакторами на тепловых нейтронах ВВЭР – 1000 без рецикла с временем службы 40 лет, принять суммарную потребность в ресурсах на один блок за весь срок службы – 8000 т ( $U_3O_8$ ), а общий объем запасов урана 1,6 млн.т ( $U_3O_8$ ). За начало отсчета принять 2010 год с суммарной мощностью АЭС 10 ГВт, ежегодный прирост мощностей считать равным 5 ГВт.

8. Определить интегральные потребности в уране ( $U_3O_8$ ) к 2020 г. для развивающейся ядерной энергетики с реакторами типа ВВЭР-1000 при темпе прироста мощностей 15% в год. Оценить экономию урана при его возвращении в цикл после переработки отработанного топлива с КВЦ = 0,24, а также наработку плутония для КН = 0,2, время внешнего цикла 3 года. За начало отсчета принять 2010 год с суммарной мощностью АЭС 10 ГВт.

9. При каком значении КВ возможно самообеспечение развивающейся ядерной энергетики на быстрых реакторах с ежегодным темпом прироста мощностей 10%. Топливо быстрых реакторов – уран-плутониевое с содержанием  $^{239}Pu$  14%, выгоранием 100 кг/т, к.и.м. 0,85,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,2$ , эффективной кампанией топлива 450 суток. Рассмотреть варианты со временем внешнего цикла 1-2 года.

## Домашняя работа № 6

1. Какая часть от среднегодовой энерговыработки ВВЭР – 1000 затрачивается на обогащение урана для годовой загрузки этого реактора?

2. Оценить стоимость продукции и число центрифуг с разделительной работой 4 ЕРР/год для завода, производящего 1000 т обогащенного урана в год с  $x = 4,4\%$ ,  $y = 0,2\%$  (воспользоваться результатами задачи 6.1.), при цене природного урана 700 руб./кг, цене разделительной работы 2000 руб./ЕРР.

3. При какой стоимости центрифуги получаемый центрифужным методом обогащенный уран станет дешевле, чем полученный газодиффузионным методом? (Стоимость 1 ЕРР в газовой диффузии принять 80 долл./ЕРР).

4. Оценить стоимость продукции и мощность электростанции, обеспечивающей работу газодиффузионного завода с производительностью 10 млн. ЕРР/год, при цене разделительной работы 2500 руб./ЕРР.

5. Во сколько раз цена 1 кг обогащенного урана больше цены 1 кг природного урана при обогащении 2%, 4,4%, 20% ( $y = 0,3\%$ ), если отношение стоимости разделительной работы к стоимости природного урана равно 0,75, 1, 1,25.

6. Найти оптимальную концентрацию  $^{235}U$  в отвале в зависимости от отношения цены разделительной работы к цене природного урана - 0,75, 1, 1,25. Какая при этом цена обогащенного урана (относительно цены разделительной работы)?

7. Из обедненного урана с концентрацией  $^{235}U$  0,36% в процессе обогащения получают уран с концентрацией, соответствующей природному. При этом  $y = 0,2\%$ , цена природного урана 100 долл./кг, цена разделительной работы 100 долл./ЕРР. Определить цену обедненного урана с концентрацией 0,36%.

8. Определить стоимость 1 кг высокообогащенного урана с  $x = 93\%$  при двух значениях  $y = 0,2\%$  и 0,3%. Принять цену природного урана 80 долл./кг, цену разделительной работы 1000 долл./ЕРР.

## Домашняя работа № 7

1. Рассчитать топливную составляющую стоимости 1 кВт×ч (э) АЭС с реактором на быстрых нейтронах при самообеспечении ядерным топливом со стоимостью хим.переработки 500 долл./кг ( $U: Pu$ ) (как топлива активной зоны, так и экрана), стоимостью изготовления ТВС

150 долл./кг, включая и расходы на приготовление смешанного  $U: Pu$  топлива и экрана (с использованием отвалного урана). Характеристики реактора: выгорание 100 кг/т,  $\frac{\sigma_r}{\sigma_f} = 0,2$ ,  $KB = 1,4$  ( $KB_{a.z.} = 0,9$ ), топливо уран-плутониевое с содержанием  $Pu$  200 кг/т, из которых 80% делящиеся изотопы, средняя концентрация плутония в экране при выгрузке 25 кг, к.п.д. 0,4.

2. Как скажется переработка топлива реактора с  $B = 20000$  МВт×сут./т, обогащением  $x = 2\%$ ,  $y = 0,3\%$ , к.п.д. 0,31 на топливной составляющей стоимости 1 кВт×ч (э) при хим.переработке отработанного топлива с содержанием  $^{235}U$  3,8 кг/т,  $^{239}Pu$  5,3 кг/т, с затратами на переработку 300 долл./кг ( $U$ ). Принять цены на природный уран 80 долл./кг, разделительную работу 100 долл./ЕРР, и изготовление ТВЭЛ 80 долл./кг ( $U$ ), стоимость ( $Pu$ ) 10 000 долл./кг.

3. Оценить возможный экономический эффект от разделительной переработки топлива активной зоны при стоимости хим.переработки 500 долл./кг (активной зоны), экрана – 300 долл./кг по сравнению с совместной переработкой по 500 долл./кг для реактора на быстрых нейтронах с уран-плутониевым топливом при содержании плутония в отработанном топливе 160 кг/т, в экране 30 кг/т, выгорание 80 000 МВт×сут./т,  $KB = 1,3$  ( $KB_{a.z.} = 0,9$ ).

4. При какой стоимости хим.переработки экономически эффективна переработка топлива с содержанием  $^{235}U$  9 кг/т,  $^{239}Pu$  8 кг/т, если цены на природный уран 100 долл./кг, разделительную работу 100 долл./ЕРР, стоимость ( $Pu$ ) 12 000 долл./кг

5. При какой минимальной цене природного урана будет экономически оправдано перерабатывать отвалный уран с  $y = 0,36\%$ , в уран с концентрацией  $^{235}U$ , соответствующей природному, если цена разделительной работы 100 долл./ЕРР, а концентрация  $^{235}U$  в новом отвале 0,2%; 0,1%

6. Суммарные затраты на сооружение и подготовку к эксплуатации заводов по хим.переработке отработанного топлива и легководных реакторов АЭС США составляют а) для завода мощностью 300 т/год – 535 млн. долл.; б) для завода мощностью 3000 т/год – 1800 млн. долл. Определить соответствующие удельные затраты (в расчете на 1 т/год

7. АЭС, сметная стоимость строительства которой составляет 2 млрд. рублей, за год вырабатывает 2 млрд. кВт×ч (э). Расход электроэнергии на собственные нужды составляет 7%. Остальная энергия поставляется потребителям по цене 2,5 рубля за кВт×ч (э). Определить балансовую прибыль, общую (балансовую) рентабельность и срок окупаемости капиталовложений. При какой цене на отпускаемую электроэнергию АЭС будет убыточной? Укладывается ли срок окупаемости капиталовложений в нормативный?

8. Оценить сравнительную эффективность вариантов строительства АЭС (срок строительства 6 лет, нормативный коэффициент эффективности капиталовложений 0,1, нормативный коэффициент приведения разновременных затрат 0,1). Определить также для каждого из вариантов финансовые потери от замораживания капиталовложений.

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

Примеры решения домашней работы № 1-7 приведены в рабочей учебной программе дисциплины «Экономика ядерной энергетики».

### ***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.

### ***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:

- В ходе 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.

### 4.3. Наименование оценочного средства:

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

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

### Индивидуальное домашнее задание № 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:  $\alpha=35$  кг/т. Выразим глубину выгорания в энергетических единицах:

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

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

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

Так же найдём ежегодную потребность в обогащённом уране:

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

Найдём потребность в топливе за весь проектный срок:

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

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 ( $U_3O_8$ ):

$$\sum G_{U_3O_8} = \sum \frac{G^{np}}{M(U_3O_8)} = \frac{4248.98}{0.842} = 5046.3m$$

По данным с сайта [www.uxc.com](http://www.uxc.com) на 27.04.2015 цена  $U_3O_8$  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:  $KH=0,32$

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, большее 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.  $n_{\text{ЕРР}}=4.339$

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

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

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

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

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

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

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

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

Найдём годовую выработку электроэнергии:

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

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.

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

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

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

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

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

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

$$C_{\text{итого}} = 90.436 \cdot 10^6 \$$$

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

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

**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.

**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.

#### 4.4. Наименование оценочного средства:

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

Специальность	14.05.01 Ядерные реакторы и материалы
Образовательная программа	«Ядерные реакторы»
Дисциплина	Основы экономики ядерного-топливного цикла

### Вопросы 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  $^{235}\text{U}X$  ( $x > c$ ), производится отбор указанного потока  $P$ .

Влево от точки питания движется поток газотриоксида урана, непрерывно обедняемый легким изотопом  $^{235}\text{U}$  и соответственно обогащаемый тяжелым изотопом  $^{238}\text{U}$ . 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  $^{235}\text{U}$ , равной  $Y$  ( $y < c$ ), образует отвал  $W$  (*Waste*- отвал, отбросы) разделительного производства.

Содержание в отвалах  $^{235}\text{U}$  определяет очень важную характеристику процесса - глубину извлечения  $^{235}\text{U}$  из исходного природного продукта. При содержании  $^{235}\text{U}$  в отвале  $Y = 0,25-0,30\%$  его извлечение из природного урана составляет в среднем 58-63%, при содержании  $^{235}\text{U}$  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  $^{235}\text{U}X$  и содержании его в отвале  $Y$ . Он находится из уравнений материального баланса:

- 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  $\beta$ :  $\alpha = \frac{R'}{R} = \frac{x}{\frac{1-x}{1-c}}$ ;  $\beta = \frac{R}{R''} =$

$$\frac{\frac{c}{1-c}}{1-y}$$

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  $\frac{V_{\text{л}}}{V_{\text{т}}} = \frac{\sqrt{m_{\text{т}}}}{\sqrt{m_{\text{л}}}}$ ,  $V_{\text{л}} > V_{\text{т}}$ .  $m_{\text{т}} > m_{\text{л}}$ , 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:  $\alpha^N = (1 + \varepsilon)^N = \frac{\frac{x}{1-x}}{\frac{y}{1-y}}$ .

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.