



КГУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИАТЭ

\_\_\_\_\_ С.О.Гапоненко  
« 18 » марта 2025 г.

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Современные технологии ядерного топливного цикла

---

Специальность: 14.05.02 Атомные станции: проектирование,  
эксплуатация и инжиниринг

Специализация: Радиационная безопасность атомных станций

Квалификация: Специалист

г. Казань, 2025

Программу разработала:

Наименование кафедры	Должность, уч.степень, уч.звание	ФИО разработчика
АРЭ	доцент, к.х.н.	Гибадуллина Х.В.

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	АРЭ	07.03.2025	11	_____ Зав.каф., д.т.н., проф. Филимонова А.А..
Согласована	АТЭС	10.03.2025	12-24/25	_____ Зав.каф., д.х.н., проф. Чичирова Н. Д.
Согласована	Учебно-методический совет ИАТЭ	18.03.2025	2	_____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О.
Одобрена	Ученый совет ИАТЭ	18.03.2025	2	_____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О.

## 1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины «Современные технологии ядерного топливного цикла» (ЯТЦ) является формирование у студентов представлений о жизненном цикле ядерного топлива, а также процессах хранения, сортировки, перевозки и переработки радиоактивных отходов.

Задачами дисциплины являются:

- изучение структуры ЯТЦ в России и за рубежом;
- изучение основных химических технологий, применяемых в ЯТЦ;
- овладение методами и средствами защиты окружающей среды на всех технологических этапах ЯТЦ;
- приобретение практического опыта в области химических технологий материалов ЯТЦ.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ПК-3. Разрабатывает и согласовывает производственно-технологическую документацию организации атомной отрасли на соответствие требованиям радиационной безопасности с использованием цифровых технологий и современных программно-технических комплексов	ПК-3.2 Демонстрирует способность к проведению анализа параметров эксплуатации АЭС для определения их соответствия требованиям радиационной безопасности, определению контрольных уровней ионизирующего излучения и критических параметров радиационной обстановки

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.:

- Химия;
- Радиоизотопы;
- Учет и контроль ядерных материалов и радиоактивных веществ;
- Защита от ионизирующего излучения. Радиационная безопасность населения и окружающей среды;
- Методы и средства радиационной безопасности;
- Физико-химические процессы при эксплуатации систем и установок на АЭС.

Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.:

- Производственная практика (производственно-технологическая);
- Производственная практика (научно-исследовательская работа 2);
- Производственная практика (преддипломная).

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семестр
			В
<b>ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
КОНТАКТНАЯ РАБОТА*	-	79	79
АУДИТОРНАЯ РАБОТА	1,11	40	40
Лекции	0,56	20	20
Практические (семинарские) занятия	0,56	20	20
Лабораторные работы		-	-
<b>САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ</b>	<b>1,89</b>	<b>68</b>	<b>68</b>
Проработка учебного материала	0,83	32	32
Курсовой проект	-	-	-
Курсовая работа	-	-	-
Подготовка к промежуточной аттестации	1	36	36
Промежуточная аттестация:			Э

#### 3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоемкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1.	22	6	-	6	10	ТК1	ПК-3.2 З
Раздел 2.	22	6	-	6	10	ТК2	ПК-3.2 У
Раздел 3.	28	8	-	8	12	ТК3	ПК-3.2 В
Экзамен	36				36	ОМ	ПК-3.2 У, В
<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>20</b>	<b>-</b>	<b>20</b>	<b>68</b>		

#### 3.3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Структура ядерного топливного цикла

Тема 1.1. Суть и структура ядерного топливного цикла

Место атомной энергетики в российской и мировой энергетической системе: современное состояние и перспективы. Открытый (разомкнутый) и

закрытый (замкнутый) ядерные топливные циклы. Проблемы и перспективы уранового, ториевого и плутониевого топлива. Крупнейшие предприятия ядерного топливного цикла в России и за рубежом. Проблемы термоядерной энергетики.

#### Тема 1.2. Ядерные реакторы

Типы и устройство энергетических ядерных реакторов. Ядерные реакторы на тепловых и быстрых нейтронах. Ядерные реакторы в России. Модернизированные ядерные реакторы. Создание систем безопасности для стандартных реакторов.

Тема 1.3. Перспективы перехода на новые типы ядерного топлива. Докритические реакторы. Судовые реакторы. Промышленные реакторы для наработки оружейного плутония. Гомогенные ядерные реакторы.

Раздел 2. Технологии производства делящихся материалов. Технологии конструкционных материалов

#### Тема 2.1 Технология урана

Уран в земной коре: распространенность, минералы, крупнейшие месторождения, классификация урановых месторождений. Добыча и первичная переработка урана. Обогащение урановых руд.

Принципиальная технологическая схема малоотходной разработки подземного уранового рудника. Роль явления разделения изотопов урана и нарушения равновесия в рядах урана и тория в процессах химической переработки природного сырья и концентратов.

Химические технологии аффинажа урана. Осадительные, сорбционные и экстракционные технологии. Современные технологические схемы урановых производств. Производство гексафторида урана, диоксида урана, металлического урана. Методы разделения изотопов урана. Состав твэлов, применяемых в ядерной энергетике. Обеспечение ядерной безопасности при работе с обогащенным ураном. Производство МОКС–топлива.

#### Тема 2.2. Химическая технология тория

Торий в земной коре: распространенность, минералы, крупнейшие месторождения, классификация урановых месторождений. Добыча и первичная переработка тория. Химические технологии вскрытия ториевого сырья. Технологии аффинажа тория и производства оксида тория. Получение металлического тория. Попутное извлечение полезных компонентов (РЗЭ, фосфора) из ториевого сырья.

#### Тема 2.3. Технологии конструкционных материалов

Физические параметры и химическая устойчивость конструкционных материалов. Радиационная стойкость конструкционных материалов. Требования к сечению захвата нейтронов для различных конструкционных материалов.

### Раздел 3. Переработка облученного ядерного топлива

#### Тема 3.1. Задачи переработки облученного ядерного топлива (ОЯТ)

Характеристики облученного ядерного топлива; цели и задачи радиохимической технологии. Особенности переработки облученного ядерного топлива АЭС. Выдержка («охлаждение») ОЯТ в бассейнах. Транспортировка ОЯТ на радиохимический завод.

Физические и ядерно-физические свойства плутония. Изотопы плутония. Химические свойства плутония. Трансмутация плутония.

Радиохимические особенности способов трансмутации минорных актиноидов.

Вопросы ядерной безопасности в процессах переработки ОЯТ

#### Тема 3.2. Водные технологии переработки ОЯТ

Экстракционный способ переработки (пурекс-процесс). Подготовка облученного ядерного топлива к экстракции. Вскрытие отработавших ТВЭЛов. Дополнительные операции подготовки топлива к растворению. Растворение ядерного топлива.

Выделение и очистка урана, плутония и нептуния. Урановая ветвь. Плутониевая ветвь. Выделение и очистка нептуния.

Тема 3.3. Технологии регенерации ценных компонентов из облученного топлива.

Извлечение Cs-137, Sr-90, Ce-144, Pm-147 и других продуктов деления. Выделение трансплутониевых элементов.

#### Тема 3.4. Неводные технологии переработки ОЯТ

Преимущества и недостатки неводных методов переработки ОЯТ. Газофторидная технология. Фторирование ОЯТ. Разделение фторидов.

Выделение урана и плутония. Проблемы конструкционных материалов для аппаратов газофторидной схемы.

### **3.4. Тематический план практических занятий**

1. Суть и структура ядерного топливного цикла
2. Ядерные реакторы
3. Перспективы перехода на новые типы ядерного топлива
4. Технология урана
5. Химическая технология тория
6. Технологии конструкционных материалов
7. Задачи переработки облученного ядерного топлива
8. Водные технологии переработки ОЯТ
9. Технологии регенерации ценных компонентов из облученного топлива.
10. Неводные технологии переработки ОЯТ

### 3.5. Тематический план лабораторных работ

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

### 3.6. Курсовой проект /курсовая работа

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

## 4. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено		не зачтено	
ПК-3	ПК-3.2	знать:				
		Знает структуру ЯТЦ и основные виды технологических операций на предприятиях атомной отрасли	Знает структуру ЯТЦ и основные виды технологических операций на предприятиях атомной отрасли, не допускает ошибок	Знает структуру ЯТЦ и основные виды технологических операций на предприятиях атомной отрасли, при ответе может допустить несколько не грубых ошибок	Знает структуру ЯТЦ и основные виды технологических операций на предприятиях атомной отрасли, допускает множество мелких ошибок	Знает структуру ЯТЦ и основные виды технологических операций на предприятиях атомной отрасли, допускает грубые ошибки
		Знает технологии переработки ОЯТ	Знает технологии переработки ОЯТ, не допускает ошибок	Знает технологии переработки ОЯТ, при ответе может допустить несколько не грубых ошибок	Знает технологии переработки ОЯТ, допускает множество мелких ошибок	Знает технологии переработки ОЯТ, допускает грубые ошибки
		уметь:				
		Умеет применять на практике полученные знания по планированию,	Демонстрирует умение применять на практике	Демонстрирует умение применять на практике	В целом демонстрирует умение применять на	При решении типовых задач

	организации и проведению работ с радиоактивными и делющимися веществами, материалами	полученные знания по планированию, организации и проведению работ с радиоактивным и и делющимися веществами, материалами, не допускает ошибок	полученные знания по планированию, организации и проведению работ с радиоактивными и делющимися веществами, материалами, может допустить несколько не грубых ошибок	практике полученные знания по планированию, организации и проведению работ с радиоактивными и делющимися веществами, материалами, допускает множество мелких ошибок	демонстрирует умение применять на практике полученные знания по планированию, организации и проведению работ с радиоактивными и делющимися веществами, материалами, допускает грубые ошибки
	Умеет систематизировать и обобщать информацию, касающуюся деятельности предприятия ЯТЦ и обеспечения экологической безопасности с использованием современных программно-технических комплексов	Демонстрирует умение систематизировать и обобщать информацию, касающуюся деятельности предприятия ЯТЦ и обеспечения экологической безопасности с использованием современных программно-технических комплексов, не допускает ошибок	Демонстрирует умение систематизировать и обобщать информацию, касающуюся деятельности предприятия ЯТЦ и обеспечения экологической безопасности с использованием современных программно-технических комплексов, может допустить несколько не грубых ошибок	Демонстрирует умение систематизировать и обобщать информацию, касающуюся деятельности предприятия ЯТЦ и обеспечения экологической безопасности с использованием современных программно-технических комплексов, допускает множество мелких ошибок	При решении типовых задач демонстрирует умение систематизировать и обобщать информацию, касающуюся деятельности предприятия ЯТЦ и обеспечения экологической безопасности с использованием современных программно-технических комплексов, допускает грубые ошибки
	владеть:				
	Владеет методами организации производственных процессов с использованием радиоактивных и ядерных материалов	Продемонстрированы навыки владения методами организации производственных процессов с использованием радиоактивных и ядерных материалов, не допускает ошибок	Продемонстрированы навыки организации производственных процессов с использованием радиоактивных и ядерных материалов, может допустить несколько не	Имеет минимальный набор навыков организации производственных процессов с использованием радиоактивных и ядерных материалов, допускает множество	Не продемонстрированы базовые навыки организации производственных процессов с использованием радиоактивных и ядерных материалов,

				грубых ошибок	мелких ошибок	допускает грубые ошибки
		владеет теоретическими основами и технологическими приемами экологически безопасного обращения с радиоактивными и делящимися веществами, материалами	Продемонстрированы навыки владения теоретическим и основами и технологическими приемами экологически безопасного обращения с радиоактивным и делящимися веществами, материалами, не допускает ошибок	Продемонстрированы навыки владения теоретическими основами и технологическими приемами экологически безопасного обращения с радиоактивными и делящимися веществами, материалами, может допустить несколько негрубых ошибок	Имеет минимальный набор навыков экологически безопасного обращения с радиоактивными и делящимися веществами, материалами, допускает множество мелких ошибок	Не продемонстрированы базовые навыки экологически безопасного обращения с радиоактивными и делящимися веществами, материалами, допускает грубые ошибки

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика.

## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 5.1. Учебно-методическое обеспечение

#### 5.1.1. Основная литература

1. Ядерный топливный цикл: Технологии, безопасность, экономика / В.М. Лебедев . – Москва : Энергоатомиздат, 2005. – 316 с.

2. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива: Учеб. Пособие для вузов / А.А. Копырин, А.И. Карелин, В.А. Карелин – Москва: ЗАО “Издательство Атомэнергоиздат”, 2006. 576 с.

3. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС : учебное пособие / М. А. Скачек. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2017. - 442 с. Текст : электронный

URL: <https://www.studentlibrary.ru/ru/book/ISBN9785383012048.html>.

4. Радиоактивность - учебное пособие для вузов / Р. А. Алиев, С. Н. Калмыков. - Санкт-Петербург: Лань. 2022.- 304 с.

URL:<https://reader.lanbook.com/book/184130#3>. - Текст: электронный.

### 5.1.2. Дополнительная литература

1. Ядерно-топливные циклы и технико-экономические показатели АЭС : учебное пособие / Н. Г. Шагиев, Г. Г. Галимова, А. Н. Зарипов. - Казань : КГЭУ, 2013. - 48 с. - URL: <https://lib.kgeu.ru>. - 4707. - Текст : непосредственный.
2. Ядерные технологии : учебник для вузов / И. Н. Бекман. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2021. - 500 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-08681-2. - Текст : непосредственный.
3. Радиационная экология – учебное пособие для вузов / Д. Ч. Ким, Д. И. Левит, Г. Д. Гаспарян. - Санкт-Петербург: Лань. 2022.- 244 с. URL: <https://reader.lanbook.com/book/183677#1>. - Текст: электронный.

## 5.2. Информационное обеспечение

### 5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

1. Электронно-библиотечная система «Лань», <https://e.lanbook.com/>
2. Электронно-библиотечная система «ibooks.ru», <https://ibooks.ru/>
3. Электронно-библиотечная система «book.ru», <https://www.book.ru/>
4. Энциклопедии, словари, справочники, <http://www.rubricon.com>
5. Портал «Открытое образование», <http://npoed.ru>
6. Единое окно доступа к образовательным ресурсам <http://window.edu.ru>

### 5.2.2. Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

1. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>
2. Российская государственная библиотека <http://www.rsl.ru>
3. Образовательный портал <http://www.ucheba.com>

### 5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

1. Windows 7 Профессиональная (Pro)
2. Браузер Chrome
3. Adobe Acrobat
4. LMS Moodle 2

## 6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование вида учебной работы	Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории	Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения
Лекции	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), демонстрационное оборудование, учебно-наглядные пособия

Практические занятия	Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран) и др.
Лабораторные работы	Учебная лаборатория В-519	Специализированное лабораторное оборудование по профилю лаборатории: доска аудиторная, устройство выпрямительное ВСА-5К, штативы металлические (2 шт.), химические реактивы (от 10 г до 1 кг. в стеклянной и пластиковой таре), химическая стеклянная посуда (от 1 мл до 2 л.), таблица Менделеева, таблица по ТБ, таблица «Стандартный ряд электронов»
	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
Самостоятельная работа	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
	Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение

## **7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для

обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета [www/kgeu.ru](http://www/kgeu.ru). Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

## **8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.**

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);

- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);

- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

*Гражданское и патриотическое воспитание:*

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

*Духовно-нравственное воспитание:*

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа

милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

*Культурно-просветительское воспитание:*

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

*Научно-образовательное воспитание:*

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

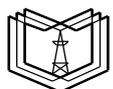
- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

**Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год**

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф. реализующей дисциплину	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					

*Приложение к рабочей  
программе дисциплины*



**КГЭУ**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)**

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
по дисциплине**

**Современные технологии ядерного топливного цикла**

---

г. Казань, 2025



## 2. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено		не зачтено	
ПК-3	ПК-3.2	знать:				
		Знает структуру ЯТЦ и основные виды технологических операций на предприятиях атомной отрасли	Знает структуру ЯТЦ и основные виды технологических операций на предприятиях атомной отрасли, не допускает ошибок	Знает структуру ЯТЦ и основные виды технологических операций на предприятиях атомной отрасли, при ответе может допустить несколько не грубых ошибок	Знает структуру ЯТЦ и основные виды технологических операций на предприятиях атомной отрасли, допускает множество мелких ошибок	Знает структуру ЯТЦ и основные виды технологических операций на предприятиях атомной отрасли, допускает грубые ошибки
		Знает технологии переработки ОЯТ	Знает технологии переработки ОЯТ, не допускает ошибок	Знает технологии переработки ОЯТ, при ответе может допустить несколько не грубых ошибок	Знает технологии переработки ОЯТ, допускает множество мелких ошибок	Знает технологии переработки ОЯТ, допускает грубые ошибки
		уметь:				
		Умеет применять на практике полученные знания по планированию, организации и проведению работ с радиоактивными и делющимися веществами, материалами	Демонстрирует умение применять на практике полученные знания по планированию, организации и проведению работ с радиоактивными и делющимися веществами, материалами, не допускает ошибок	Демонстрирует умение применять на практике полученные знания по планированию, организации и проведению работ с радиоактивными и делющимися веществами, материалами, может допустить	В целом демонстрирует умение применять на практике полученные знания по планированию, организации и проведению работ с радиоактивными и делющимися веществами, материалами, допускает	При решении типовых задач демонстрирует умение применять на практике полученные знания по планированию, организации и проведению работ с радиоактивными и делющимися

				несколько не грубых ошибок	множество мелких ошибок	веществами, материалами, допускает грубые ошибки
		Умеет систематизировать и обобщать информацию, касающуюся деятельности предприятия ЯТЦ и обеспечения экологической безопасности с использованием современных программно-технических комплексов	Демонстрирует умение систематизировать и обобщать информацию, касающуюся деятельности предприятия ЯТЦ и обеспечения экологической безопасности с использованием современных программно-технических комплексов, не допускает ошибок	Демонстрирует умение систематизировать и обобщать информацию, касающуюся деятельности предприятия ЯТЦ и обеспечения экологической безопасности с использованием современных программно-технических комплексов, может допустить несколько не грубых ошибок	Демонстрирует умение систематизировать и обобщать информацию, касающуюся деятельности предприятия ЯТЦ и обеспечения экологической безопасности с использованием современных программно-технических комплексов, допускает множество мелких ошибок	При решении типовых задач демонстрирует умение систематизировать и обобщать информацию, касающуюся деятельности предприятия ЯТЦ и обеспечения экологической безопасности с использованием современных программно-технических комплексов, допускает грубые ошибки
		владеть:				
		Владеет методами организации производственных процессов с использованием радиоактивных и ядерных материалов	Продемонстрированы навыки владения методами организации производственных процессов с использованием радиоактивных и ядерных материалов, не допускает ошибок	Продемонстрированы навыки организации производственных процессов с использованием радиоактивных и ядерных материалов, может допустить несколько не грубых ошибок	Имеет минимальный набор навыков организации производственных процессов с использованием радиоактивных и ядерных материалов, допускает множество мелких ошибок	Не продемонстрированы базовые навыки организации производственных процессов с использованием радиоактивных и ядерных материалов, допускает грубые ошибки
		владеет теоретическими основами и технологическими приемами экологически безопасного обращения с радиоактивными и делющимися веществами, материалами	Продемонстрированы навыки владения теоретическими основами и технологическими приемами экологически безопасного обращения с радиоактивным и	Продемонстрированы навыки владения теоретическими основами и технологическими приемами экологически безопасного	Имеет минимальный набор навыков экологически безопасного обращения с радиоактивными и делющимися веществами, материалами,	Не продемонстрированы базовые навыки экологически безопасного обращения с радиоактивными и делющимися

			делящимися веществами, материалами, не допускает ошибок	обращения с радиоактивными и делющимися веществами, материалами, может допустить несколько не грубых ошибок	допускает множество мелких ошибок	веществами, материалами, допускает грубые ошибки
--	--	--	---	---	-----------------------------------	--

Оценка **«отлично»** выставляется за выполнение контрольных работ в семестре; собеседование; полные и содержательные ответы на вопросы экзаменационного билета (теоретическое и практическое задание);

Оценка **«хорошо»** выставляется за выполнение контрольных работ в семестре; собеседование; ответы на вопросы экзаменационного билета (теоретическое или практическое задание);

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется за выполнение контрольных работ в семестре и собеседование;

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется за слабое и неполное выполнение контрольных работ в семестре.

### 3. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Описание оценочного средства
Контрольная работа (КнТР)	Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу	Комплект контрольных заданий по вариантам
Собеседование (Сбс)	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по разделам дисциплины

#### **4. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины**

**Для текущего контроля:**

Проверяемые компетенции:

ПК-3.2 Демонстрирует способность к проведению анализа параметров эксплуатации АЭС для определения их соответствия требованиям радиационной безопасности, определению контрольных уровней ионизирующего излучения и критических параметров радиационной обстановки

#### **Контрольные задания**

Вариант 1

1. Технологические процессы производства урановых концентратов.
2. Технологические процессы аффинажа урана.

Вариант 2

1. Цели и задачи производства фтора, обобщенная структура производства.
2. Аппаратурное оформление производства фтора.

Вариант 3

1. Обобщенная структура производства гексафторида урана.
2. Аппаратурное оформление технологических процессов производства гексафторида урана.

Вариант 4.

1. Основные стадии производства ТВЭЛов.
2. Аппаратурное оформление технологических процессов производства ТВЭЛов.

Вариант 5

1. Обобщенная структура разделительного производства.
2. Аппаратурное оформление технологических процессов разделительного производства.

Вариант 6.

1. Обобщенная структура АЭС.
2. Аппаратурное оформление радиохимических производств.

Вариант 7.

1. Технологические процессы производства урановых концентратов.
2. Технологические процессы аффинажа урана.

Вариант 8.

1. Обобщенная структура разделительного производства.

2. Аппаратурное оформление технологических процессов разделительного производства.

Вариант 9.

1. Обобщенная структура производств ядерного топливного цикла.
2. Технологические процессы производства урановых концентратов.

Вариант 10.

1. Обобщенная структурная схема производства ТВЭЛов.
2. Основные стадии производства ТВЭЛов.

Вариант 11.

1. Аппаратурное оформление радиохимических производств.
2. Обращение с отработанным ядерным топливом.

### **ТК1**

Типовые задачи:

1. Определите среднюю атомную массу кислорода, если природная смесь  $O_2$  содержит 99,76 %  $^{16}O$ , 0,04%  $^{17}O$ , 0,2 %  $^{18}O$ .

2. Определите атомную массу лития, если природная смесь содержит 7,42 %  $^5Li$  и 92,58 %  $^7Li$ . У лития так же известны семь искусственных радиоактивных изотопов ( $^4Li$  —  $^{12}Li$ ).

3. Природная медь состоит из двух изотопов, для которых известны значения относительной атомной массы ( $A_r$ ) и мольной доли ( $x$ ):

$$^{63}Cu - A_r = 62,9298 \text{ а.е.м.}, x = 69,17 \%;$$

$$^{65}Cu - A_r = 64,9278 \text{ а.е.м.}, x = 30,83 \%.$$

По этим данным рассчитайте  $A_r$  для природной меди.

4. Природный кобальт содержит один изотоп  $^{59}Co$  с относительной атомной массой 58,9322. Докажите расчетом, что природный никель легче кобальта, используя данные по изотопному составу никеля:

Изотоп	$^{58}Ni$	$^{60}Ni$	$^{61}Ni$	$^{62}Ni$	$^{64}Ni$
$A_r$ , а.е.м.	57,9353	59,9332	60,9010	61,9283	63,9280
$x$ , %	68,27	26,10	1,13	3,59	0,91

5. Радиоактивный изотоп  $^{14}C$  с периодом полураспада 5700 лет постоянно образуется в атмосфере в результате ядерных реакций между атомами азота и нейтронами под действием космических лучей. В результате он участвует во всех реакциях углерода и в процессе фотосинтеза попадает в живые организмы, и изотопное отношение  $^{14}C / ^{12}C$  в живых организмах постоянно. Это свойство используется для определения возраста биологических образцов, полученных

из мертвых организмов. В этих объектах изотопное отношение  $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$  уже не постоянно, а уменьшается с течением времени из-за распада  $^{14}\text{C}$ . Рассчитайте возраст исследуемого образца, если изотопное отношение  $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$  в образце составляет 0,125 от величины, соответствующей живому организму, а распад изотопа  $^{14}\text{C}$  является реакцией первого порядка.

6. Определите радиоактивную постоянную и среднюю продолжительность жизни гадолия  $^{161}\text{Gd}$ , если период полураспада  $T_{1/2} = 3,63$  мин.

7. Оксид лантана (3+) получается разложением нитрата при нагревании. Реакция разложения идет по схеме:



Какая масса нитрата лантана разложилась, если при этом образовалось 11,2 л диоксида азота?

8. Определить число нейтронов в ядре элемента  ${}_Z\text{X}^A$ ;  $A = 210$ ,  $Z = 84$ .

9. Период полураспада  $T$  изотопа висмута  $^{210}\text{Bi}$  равен пяти дням. Какая масса этого изотопа осталась через 15 дней в образце, содержащем первоначально 80 мг?

10. С какой скоростью должны сближаться источник и поглотитель, состоящие из свободных ядер  $\text{Ir}^{191}$ , чтобы можно было наблюдать максимальное поглощение  $\gamma$ -квантов с энергией 129 кэВ?

11. Сколько ядер распадается за 1с. в куске урана  ${}_{92}\text{U}^{238}$  массой 1,0 кг? Какова активность этого урана?

12. Сколько  $\beta$ -частиц испускает в течение одного часа 1,0 мкг изотопа  $\text{Na}^{24}$ , период полураспада которого равен 15 ч?

13. Зная постоянную распада  $\lambda$  ядра, определить: а) вероятность того, что оно распадется за промежуток времени от 0 до  $t$ ; б) его среднее время жизни.

14. Какая доля радиоактивных ядер кобальта, период полураспада которых 71,3 дня, распадется за месяц?

15. При изучении  $\beta$ -распада радиоизотопа  $\text{Mg}^{23}$  в момент  $t = 0$  был включен счетчик. К моменту  $t_1 = 2,0$  с он зарегистрировал  $N_1 \dots$

### Вопросы к комплексному заданию ТК 1 (Сбс)

1. Отличия ядерного от органического топлива.
2. Ядерно-физические свойства природных и искусственных актиноидов.
3. Изотопный состав топлива до и после эксплуатации в различных ядерных энергетических установках (РБМК, ВВЭР, БН, CANDU, исследовательские реакторы).
4. Номенклатура и свойства продуктов деления урана.
5. Нераспространение ядерных делящихся материалов.
6. Концепции ядерного топливного цикла.

7. Распределение разведенных мировых запасов урана по странам, себестоимости.

8. Соотношение объемов ежегодной добычи и потребления, динамика цен, рынок добычи урана в разрезе по странам и компаниям.

9. Методы добычи и обогащения руды.

10. Методы выделения урана из руды.

11. Аффинаж.

12. Конверсия оксидов урана в гексафторид.

13. Представление о работе разделения (ЕРР).

14. Газодиффузионные и газоцентрифужные методы.

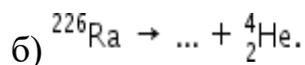
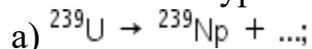
15. Лазерные, химические, электромагнитные, сопловые и плазменные методы обогащения урана.

16. Сопоставление методов по величине коэффициента разделения за цикл и энергоемкости в расчете на единицу работы разделения.

## **ТК2**

Типовые задачи:

1. Составьте уравнения ядерных реакций:



2. Радионуклиды  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  подвергаются  $\alpha$ -распаду, а радионуклиды  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  —  $\beta$ -распаду. Составьте уравнения реакций их распада и назовите продукты.

3. Массовая доля калия в теле человека составляет 0,25 %. Из всего количества атомов калия на долю калия-40 приходится 0,0117 %. Рассчитайте число радиоактивных атомов  $^{40}\text{K}$  в организме человека, масса которого — 60 кг.

4. Первой искусственной ядерной реакцией, которую осуществил Э. Резерфорд в 1919 году, была реакция взаимодействия атомов азота-14 с  $\alpha$ -частицами. В ходе реакции образуется атом некоторого элемента и выделяется протон. Определите этот элемент.

5. Средняя энергия, которая выделяется при распаде одного ядра урана-235, равна  $3,24 \cdot 10^{-11}$  Дж. Рассчитайте значение энергии, которая выделится при распаде урана-235:

а) количеством 1 моль;

б) массой 1 кг.

6. Установите формулу интерметаллического соединения, образующегося при сплавлении оантана и таллия и содержащего 14,8 % La.

7. Во сколько раз уменьшается активность радиоактивного иода  $^{131}\text{I}$  через время  $t$ ? Период полураспада равен 8 суток.

8. Сколько атомов полония из  $N = 10^6$  распадается за  $\Delta t = 1$  сутки?

9. В горах, на высоте 4500 м эквивалентная доза облучения 3 мЗв/год, а на вершине Эвереста 8 бэр/год. Где эквивалентная доза выше?

10. Ядро  $_{84}\text{Po}^{210}$  полония превратилось в ядро  $_{82}\text{Pb}^{206}$  свинца. Определить кинетическую энергию  $\alpha$  - частицы и ядра отдачи.

11. Препарат  $\text{U}^{238}$  массы 1,0 г излучает  $1,24 \cdot 10^4$   $\alpha$ -частиц в секунду. Найти период полураспада этого изотопа и активность препарата.

12. В урановой руде отношение числа ядер  $\text{U}^{238}$  к числу ядер  $\text{Pb}^{206}$   $\eta = 2,8$ . Оценить возраст руды, считая, что весь свинец  $\text{Pb}^{206}$  ...

13. Покоившееся ядро  $\text{Po}^{200}$  испустило  $\alpha$ -частицу с кинетической энергией  $T_\alpha = 5,77$  МэВ. Найти скорость отдачи дочернего ядра...

14. Альфа-распад ядер  $\text{Po}^{210}$  (из основного состояния) сопровождается испусканием двух групп  $\alpha$ -частиц с кинетическими энергиями 5,30 и 4,50...

15. Источник  $\gamma$ -квантов расположен на  $h = 20$  м выше поглотителя. С какой скоростью необходимо перемещать вверх источник, чтобы в месте расположения поглотителя полностью скомпенсировать гравитационное изменение энергии  $\gamma$ -квантов, обусловленное полем тяготения Земли?

### Вопросы к комплексному заданию ТК 2 (Сбс)

1. Основные типы топлива для ядерных реакторов: физико-химические свойства, методы получения, поведение в условиях облучения.

2. Технологические этапы производства таблеток диоксида урана.

3. Особенности процесса при использовании регенерированного урана и уран-плутониевого топлива.

4. Технологии перегрузки тепловыделяющих сборок.

5. Использование топлива в ядерных реакторах.

6. Топливная компания.

7. Технологии проведения перегрузок.

8. Приреакторные и пристанционные «мокрые» хранилища отработанных тепловыделяющих сборок.

9. Сухие методы хранения отработанного топлива.

10. Транспортно-упаковочные контейнеры: требования по обеспечению ядерной и радиационной безопасности, герметичность в аварийных ситуациях, физическая безопасность.

11. Технологии переработки облученного ядерного топлива: преимущества и недостатки Действующие и строящиеся центры переработки облученного ядерного топлива. PUREX-технология.

12. Характеризация объемов и активности радиоактивных отходов. Особенности переработки топлива с высоким выгоранием.

13. Нераспространение.

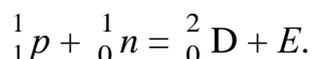
14. Перспективные технологии переработки отработанного ядерного топлива: SAFAR, пирохимические и пирометаллургические методы, DUPIC.

### ТКЗ

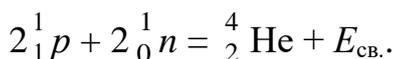
Типовые задачи:

1. Природный хлор на 75,5 % состоит из  $^{35}\text{Cl}$  и на 24,5 % – из  $^{37}\text{Cl}$ . Вычислите относительную атомную массу хлора.

2. Рассчитайте энергию образования ядра дейтерия по схеме:



3. Рассчитайте удельную энергию связи для ядра гелия по схеме:



4. Определите, сколько различных видов молекул воды может образоваться из природных изотопов кислорода:  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{17}_8\text{O}$ ,  $^{18}_8\text{O}$  – и изотопов водорода: протия  $^1_1\text{H}$ , дейтерия  $^2_1\text{H}$ , трития  $^3_1\text{H}$ .

5. Чему равен полураспад плутония  $^{232}\text{Pu}$ ? Если через 3 ч его хранения из 0,32 г осталось 0,1 г?

6. Соединения урана (III) – сильные восстановители, хлорид разлагает воду, процесс разложения выражается схемой реакции:



Какая масса хлорида урана (III) вступила в реакцию, если образовалось 0,2 л 0,2 н. HCl?

7. Сколько граммов плутония содержится в  $5 \text{ см}^3$  ( $\rho = 19,816 \text{ кг/м}^3$ )?

8. Через какое время в препарате полония  $^{210}_{84}\text{Po}$  распадается 75,0 % имеющихся атомов, если непрерывно удалять радиоактивные продукты распада?

9. Зная массу дочернего нуклида и энергию  $\beta$ -распада  $Q$ , найти массу нуклида:

а)  ${}^6\text{He}$ , испытывающего  $\beta^-$ -распада,  $Q = 3,50 \text{ МэВ}$ ;

б)  ${}^{22}\text{Na}$ , испытывающего  $\beta^+$ -распада,  $Q = 1,82 \text{ МэВ}$ .

10. Сколько ядер распадается за 1с. в куске урана  ${}^{238}_{92}\text{U}$  массой 1,0 кг? Какова активность этого урана?

11. Период полураспада радиоактивного изотопа  ${}^{37}\text{Ar}$   $T = 32$  дня. Найти активность  $A$  препарата  ${}^{37}\text{Ar}$  через: а) 1 день; б) 1000 дней после его

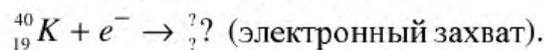
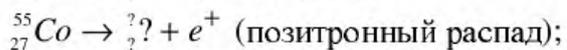
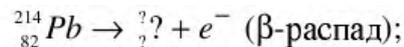
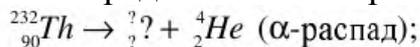
изготовления, если начальная активность  $A_0=100$  мКи.

12. Термоядерные реакции, или реакции синтеза ядер, проходят в недрах и на поверхности звезд. В этих процессах происходит слияние легких ядер с образованием более тяжелых. Но не только природа умеет создавать химические элементы. Так, например, в течение последних пяти лет учеными были открыты (впервые получены) ядра элементов с порядковым номером более 112. Их образование зафиксировано в следующих реакциях:



Составьте полные уравнения упомянутых ядерных реакций, заменив знаки вопроса соответствующими числами или символами химических элементов.

13. Закончите приведенные ниже уравнения, относящиеся к разным типам радиоактивного распада:



Известно, что процесс распада нестабильного радиоактивного ядра продолжается до тех пор, пока не получится устойчивое ядро. Например, в результате серии последовательных  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов радиоактивный изотоп  ${}^{238}\text{U}$  постепенно превращается в стабильный изотоп  ${}^{206}\text{Pb}$ .

14. Определите возраст месторождения урана, если на 1 г  ${}^{238}\text{U}$  в руде приходится 0,4 г  ${}^{206}\text{Pb}$ . Период полураспада (время, за которое распадается половина атомов радиоактивного изотопа)  ${}^{238}\text{U}$  составляет  $4,486 \cdot 10^9$  лет.

15. Найти кинетическую энергию ядра отдачи при позитронном распаде ядра  $\text{N}^{13}$  в том случае, когда энергия позитрона максимальна.

### Вопросы к комплексному заданию ТК 3 (Сбс)

1. Классификация радиоактивных отходов.
2. Нормативная база в области обеспечения радиационной и ядерной безопасности при обращении с радиоактивными отходами.
3. Классификация жидких газообразных и твердых радиоактивных отходов по величине типу и активности.
4. Основные этапы переработки жидких радиоактивных отходов, образующихся в процессе переработки облученного ядерного топлива.
5. Законодательное регулирование в сфере обращения с радиоактивными отходами.
6. Особенности переработки радиоактивных отходов широкого спектра активности, агрегатного строения и номенклатуры.
7. Плазменные методы переработки.
8. Метод холодного тигля.

9. Подготовка эксплуатационных отходов АЭС к иммобилизации
10. Боросиликатные и алюмофосфатные матрицы для иммобилизации высокоактивных отходов.
11. Технологические стадии процесса стеклования.
12. Минералоподобные матрицы типа SYNROC.
13. Обращение со средне- и низкоактивными отходами.
14. Битумизация и цементирование.
15. Переработка радиоактивных газовых выбросов АЭС и предприятий ядерного топливного цикла.
16. Основные типы промежуточных хранилищ радиоактивных отходов.
17. Выбор геологической формации для окончательного захоронения остеклованных высокоактивных отходов: мировой опыт.
18. Приповерхностные хранилища низко- и среднеактивных отходов.
19. Природные и инженерные барьеры на пути проникновения радионуклидов в биосферу.
20. Математическое моделирование миграции радионуклидов.

#### **Для промежуточной аттестации:**

1. Суть и структура ядерного топливного цикла. Открытый (разомкнутый) и закрытый (замкнутый) ядерные топливные циклы.
2. Типы энергетических ядерных реакторов. Устройство ядерного реактора. Ядерные реакторы на тепловых и быстрых нейтронах.
3. Уран в земной коре: распространенность, минералы, крупнейшие месторождения, классификация урановых месторождений. Добыча и первичная переработка урана.
4. Технологические процессы производства урановых концентратов.
5. Химические технологии аффинажа урана.
6. Цели и задачи производства фтора, обобщенная структура производства.
7. Аппаратурное оформление производства фтора.
8. Обобщенная структура производства гексафторида урана.
9. Аппаратурное оформление технологических процессов производства гексафторида урана.
10. Обобщенная структурная схема производства ТВЭЛов.
11. Основные стадии производства ТВЭЛов.
12. Аппаратурное оформление технологических процессов производства ТВЭЛов.

13. Производство гексафторида урана, диоксида урана, металлического урана.
14. Методы разделения изотопов урана.
15. Состав и производство твэлов и топливных сборок, технологические требования к их качеству.
16. Проблемы обращения с обедненным гексафторидом урана (ОГФУ). Методы конверсии ОГФУ и сферы применения продуктов его переработки.
17. Торий в земной коре: распространенность, минералы, крупнейшие месторождения, классификация урановых месторождений. Добыча и первичная переработка тория.
18. Технологии аффинажа тория и производства оксида тория.
19. Химические технологии производства циркония и гафния.
20. Химическая технология бериллия.
21. Прочие конструкционные материалы: бор, графит, нержавеющая сталь, РЗЭ.
22. Теплоносители для ядерных реакторов.
23. Характеристики облученного ядерного топлива; цели и задачи радиохимической технологии. Крупнейшие радиохимические производства в России и за рубежом.
24. Обобщенная структура разделительного производства.
25. Аппаратурное оформление технологических процессов разделительного производства.
26. Обобщенная структура АЭС.
27. Аппаратурное оформление радиохимических производств.
28. Особенности переработки облученного ядерного топлива АЭС. Выдержка («охлаждение») ОЯТ в бассейнах. Транспортировка ОЯТ на радиохимический завод.
29. Проблема трансурановых элементов.
30. Обращение с отработанным ядерным топливом.
31. Осадительные технологии переработки ОЯТ. Ацетатная технология. Лантан-фторидная и висмут-фосфатная схемы разделения урана и плутония. Недостатки осадительных технологий.
32. Экстракционный способ переработки ОЯТ (пурекс-процесс).
33. Регенерация ценных компонентов из облученного топлива.
34. Преимущества и недостатки неводных методов переработки ОЯТ.
35. Газофторидная технология переработки ОЯТ.