Рабочая программа дисциплины (модуля) «Радиохимическая переработка отработавшего ядерного топлива», включая оценочные материалы

1. Требования к результатам обучения по дисциплине (модулю)

1.1. Перечень компетенций, формируемых дисциплиной (модулем) в процессе освоения образовательной программы

Группа компетенций	Категория компетенций	Коды и содержание компетенций
Универсальные	-	-
Общепрофессиональные	-	-
Профессиональные	-	ПК-3. Способен осуществлять технологический процесс обращения, хранения, транспортировки и переработки ядерного топлива и иных ядерных материалов в соответствии с регламентом, с соблюдением норм охраны труда, правил техники безопасности, производственной санитарии, пожарной и ядерной безопасности

1.2. Компетенции и индикаторы их достижения, формируемых дисциплиной (модулем) в процессе освоения образовательной программы

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Содержание индикатора компетенции
ПК-3	ПК-3.4	Осуществляет и контролирует процесс сбора, хранения и переработки ядерных материалов и радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с радиоактивными отходами

1.3. Результаты обучения по дисциплине (модулю)

Цель изучения дисциплины (модуля) – изучение основных технологий радиохимической переработки отработавшего ядерного топлива.

В результате изучения дисциплины (модуля) обучающийся должен

знать:

- основные параметры, технические характеристики технологического оборудования;
- устройство и назначение аппаратуры;
- типовые технологические схемы периодических и непрерывных процессов в гидрометаллургии;
- основы подготовки отработанного ядерного топлива к растворению (хранение, транспортировка, охлаждение, расчехловка кассет, отделение наконечников, снятие оболочек, резка), саморастворение, экстракционное разделение урана, плутония, нептуния и их очистку от продуктов деления, аффинажные операций с ураном, плутонием и нептунием;
- неводные процессы переработки отработанного ядерного топлива (фторидная технология, пиропроцессы), способы улавливания радиоактивных и ценных нуклидов из газовой фазы;
- основы построения технологических схем с учетом типа и состава ядерного топлива, конструкционных материалов ТВЭЛов, степени выгорания, природы экстрагента и растворителя;
- перспективные схемы с получением ценных нуклидов из числа трансплутониевых элементов и продуктов деления;
- основы подготовки отработанного ядерного топлива к растворению (хранение, транспортировка, охлаждение, расчехловка кассет, отделение наконечников, снятие оболочек, резка), само растворение, экстракционное разделение урана, плутония, нептуния и их очистку от продуктов деления, аффинажные операций с ураном, плутонием и нептунием;
- принцип действия аппарата;
- методы оценки эффективности производства;

- общие закономерности химических процессов в технологии редких и радиоактивных элементов;

уметь:

- составить технологическую схему проектируемого производства;
- правильно выбрать конструкции аппаратов и материалы для их изготовления;
- рассчитать количество и основные характеристики аппаратов, обеспечивающих заданную производительность;
- на основе имеющихся исходных данных правильно организовывать технологический процесс, обеспечивающий получение ценных компонентов, отвечающий требованиям ТУ и ГОСТов;
- выбирать конструкционные материалы и оборудование для обеспечения оптимальных условий проведения процессов;
- проводить исследования с применением радиоактивных нуклидов по очистке урана и плутония ионообменными, экстракционными и осадительными методами;

владеть:

- навыками оценки эффективности и качества технологического процесса;
- методами проведения химического анализа и метрологической оценки его результатов;
- методами анализа технологического процесса;
- расчетом удельной производительности технологических аппаратов в зависимости от их типа и назначений процесса теоретическими основами гидрометаллургических процессов, включая процессы растворения, экстракционного разделения урана, плутония, нептуния и их очистки от продуктов деления, аффинажные операции с ураном, плутонием и нептунием;
- современной компьютерной базой литературных и патентных данных технологии переработки облученного ядерного топлива;
- теоретическими основами гидрометаллургических процессов, включая процессы растворения, экстракционного разделения урана, плутония, нептуния и их очистки от продуктов деления, аффинажные операции с ураном, плутонием и нептунием;
- навыками оценки эффективности и качества управления технологическими процессами в производстве редких и радиоактивных материалов;
- методами расчета технологического процесса, производительности технологических аппаратов в зависимости от их типа и вида процесса.

2. Объем, структура и содержание дисциплины (модуля)

2.1. Объем дисциплины (модуля)

Виды учебной работы	***Формы обучения***
	Очная
Общая трудоемкость: зачетные единицы/часы	4/144
Контактная работа:	72
Занятия лекционного типа	36
Занятия семинарского типа	36
Консультации	0
Промежуточная аттестация: зачет с оценкой	0
Самостоятельная работа (СР)	72

2.2. Темы (разделы) дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества часов по формам образовательной деятельности

Очная форма обучения

№ п/п	**Наименование тем (разделов)**	**Виды учебной работы (в часах)**						
		Контактная работа						**СР**
		Занятия лекционного типа		**Занятия семинарского типа**				
		Л	**Иные**	**ПЗ**	**С**	**ЛР**	**Иные**	

1.	Растворение ядерного топлива	6	0	6	0	0	0	12
2.	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония	6	0	6	0	0	0	12
3.	Переработка ядерного топлива методом жидкостной экстракции	6	0	6	0	0	0	12
4.	Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива	6	0	6	0	0	0	12
5.	Аффинаж плутония	6	0	6	0	0	0	12
6.	Неводные методы переработки ядерного топлива	6	0	6	0	0	0	12

Примечания:

Л – лекции, ПЗ – практические занятия, С – семинары, ЛР – лабораторные работы, СР – самостоятельная работа.

2.3. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) и видам работ

Содержание лекционного курса

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Содержание лекционного курса
1.	Растворение ядерного топлива	Подготовительные операции, предшествующие растворению ядерного топлива: расчехловка, снятие оболочек, резка. Снятие оболочек механическим способом. Удаление оболочек из алюминия растворами щелочей. Растворение оболочек из нержавеющей стали в серной и плавиковой кислотах. Высокотемпературные способы разрушения оболочек из нержавеющей стали. Растворение оболочек из циркония (циркаллоя) в плавиковой, серной кислотах и фториде аммония. Растворение ядерного топлива на основе металлического урана в азотной кислоте. Химизм процесса. Зависимость расхода азотной кислоты от аппаратурного оформления процесса. Состав отходящих газов. Растворение урана в азотной кислоте без выделения газообразных продуктов. Растворение урана в соляной кислоте. Электролитическое растворение урана. Растворение ядерного топлива на основе сплавов урана и алюминия в щелочах и азотной кислоте. Растворение урана с высоким и низким содержанием циркония в кислотах. Растворение сплавов урана с молибденом. Предварительное удаление газообразных продуктов деления из диоксида урана при термической обработке в атмосфере кислорода (волоксидация). Растворение диоксида урана в азотной кислоте. Источники появления осадков в процессе растворения оксидного ядерного топлива (примеси, вносимые в топливо при его изготовлении, примеси, появляющиеся в процессе механической и химической переработки ядерного топлива). Типы осадков: металлическая фаза, продукты коррозии, малорастворимые гидролизованные соединения продуктов деления и т.п. Осветление растворов. Растворение металлического плутония и его диоксида. Обезвреживание газообразных радиоактивных отходов. Улавливание молекулярного йода щелочными растворами, концентрированной азотной кислотой, растворами нитратов серебра(I) и ртути(I, II). Очистка газовых потоков от криптона и

		ксенона (криогенный метод, сорбционный и абсорбционный методы).
2.	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония	Сокристаллизация плутония (Ш, IV) с фосфатом висмута, фторидом лантана, двойными сульфатами лантана и калия и др. соединениями. Возможные варианты разделения урана и плутония, основанные на соосаждении на носителях. Фосфатно - фторидная, лантан - сульфатная и фторидно - ацетатная схемы.
3.	Переработка ядерного топлива методом жидкостной экстракции	Круг задач, решаемых с помощью метода жидкостной экстракции в технологии отработанного ядерного топлива. Общая характеристика используемых в промышленности экстрагентов и разбавителей. Выбор экстрагента и схемы переработки ядерного топлива. Подготовительные операции: корректировка растворов, отгонка йода и рутения, сорбционное извлечение циркония, ниобия и рутения. Стабилизация состояний плутония и нептуния в степенях окисления, равных (VI) и (V). Восстановители, применяемые при реэкстракции плутония. Способы стабилизации состояний - железо(II) и уран(IV) в азотнокислых растворах. Основные принципы разделения нептуния и урана, а также нептуния и плутония при использовании метода жидкостной экстракции. Схемы экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления с помощью гексона, три-н.-бутилфосфата и бутекса. Экстракционное выделение нептуния, плутония и урана из растворов отработанного ядерного топлива. Радиолиз органических растворителей и экстрагентов. Регенерация бутекса, гексона и три-н.-бутилфосфата. Применение углеводородных растворителей и четыреххлористого углерода в качестве разбавителей для экстракционных систем. Особенности, недостатки и преимущества схем при использовании вышеуказанных разбавителей. Экстракционная переработка растворов, получаемых после растворения сплавов и композиций урана с цирконием и нержавеющей сталью. Экстракция урана и плутония из сульфатных и нитратных растворов экстрагентами различных классов. Концентрирование плутония и нептуния при использовании третичных аминов в качестве экстрагентов. Реэкстракция плутония и нептуния из органической фазы. Схемы извлечения урана из облученного тория три-н.-бутилфосфатом. Экстракционное разделение урана, тория и протактиния. Способы извлечения протактиния-233 из растворов. Концентрирование и очистка урана на катионитах и методом жидкостной экстракции.
4.	Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива	Круг задач, решаемых с помощью метода ионного обмена в технологии обработанного ядерного топлива. Процессы радиолиза ионообменных материалов. Концентрирование плутония, поступающего с разделительных экстракционных установок на катионитах и анионитах. Ядерная и пожарная безопасность при работе с ионообменными материалами в нитратных водных средах. Обеспечение безопасности при работе с ионообменными колоннами. Разделение урана, плутония и нептуния с использованием анионитов. Стабилизация степеней окисления плутония и нептуния в ионообменной технологии. Разделение тория, протактиния и урана на анионитах в солянокислых растворах. Разделение редкоземельных и трансплутониевых элементов на катионитах. Концентрирование радионуклидов на ионообменных смолах.
5.	Аффинаж плутония	Меры предосторожности, применяемые при работе с плутонием и обогащенным ураном. Параметры, определяющие возможность возникновения критичной массы: конфигурация аппаратов, концентрация и масса делящегося нуклида. Концентрирование плутония выпариванием, ионным обменом и противоточной экстракцией. Состояние урана, плутония, нептуния и продуктов деления в азотнокислых растворах,

		содержащих пероксид водорода, оксалат- и фторид-ионы. Осаждение плутония (Ш, IV) в форме оксалатов, пероксида, трифторида и двойной соли фторидов кальция и плутония, гидрофторирование и восстановления плутония до металла.
6.	Неводные методы переработки ядерного топлива	Газофторидный способ регенерации отработанного ядерного топлива. Физико-химические свойства фторидов урана, плутония, продуктов деления и коррозии. Разделение гексафторидов урана и плутония. Очистка гексафторида урана от продуктов деления методами ректификации и адсорбции. Фторирование отработанного ядерного топлива элементарным фтором, трифторидами брома и хлора. Общая характеристика пиропроцессов, их достоинства и недостатки.

Содержание занятий семинарского типа

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Тип	Содержание занятий семинарского типа
1.	Растворение ядерного топлива	ПЗ	Аппаратурное оформление процессов химического снятия оболочек и растворения ядерного топлива. Конструкции аппаратов периодического и непрерывного действия. Общая характеристика состояния урана, плутония, нептуния, тория и продуктов деления в нитратных растворах. Комплексообразование ионов и их гидролиз. Склонность к процессам гидролиза и комплексообразования плутония и нептуния (Ш, IV, V, и VI). Образование плутонием полимерных форм в растворах и способы их разрушения. Реакции диспропорционирования нептуния и плутония(IV), (V). Окислители и восстановители, используемые в промышленности для изменения степени окисления нептуния и плутония. Ядерная безопасность.
2.	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония	ПЗ	Поведение урана, плутония и продуктов деления на отдельных стадиях процесса. Особенности этих схем, их преимущества и недостатки. Разделение плутония и нептуния на носителях. Лантан-сульфатная схема извлечения плутония из растворов урана
3.	Переработка ядерного топлива методом жидкостной экстракции	ПЗ	Применение экстракционных процессов при очистке урана. Высаливающее действие азотной кислоты на экстракцию нитратов уранила и тория растворами три-н.- бутилфосфата в керосине. Высаливающее действие нитратов аммония и алюминия(Ш) на экстракцию нитратов уранила и тория растворами три-н.-бутилфосфата в керосине. Влияние соотношения фаз на экстракцию нитрата уранила растворами три-н.-бутилфосфата в керосине. Экстракционная очистка урана (VI) от продуктов деления
4.	Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива	ПЗ	Ионообменные методы концентрирования и очистки урана. Ионообменное извлечение урана из растворов облученного тория. Ионообменное извлечение свободного от носителя изотопа 234Th (UX1) из растворов солей уранила(VI). Получение ^{238}Pu и его применение Выделение америция и кюрия
5.	Аффинаж плутония	ПЗ	Обезвреживание газообразных радиоактивных отходов Осаждение плутония (Ш, IV) в форме оксалатов, пероксида, трифторида и двойной соли фторидов кальция и плутония, гидрофторирование и восстановления плутония до металла.
6.	Неводные методы переработки ядерного топлива	ПЗ	Очистка гексафторида урана от продуктов деления методами ректификации и адсорбции. Фторирование отработанного ядерного топлива элементарным фтором, трифторидами брома и хлора. Общая

			характеристика пиропроцессов, их достоинства и недостатки.

Содержание самостоятельной работы

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Содержание самостоятельной работы
1.	Растворение ядерного топлива	Повторение лекционного материала. Подготовка к занятиям семинарского типа
2.	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония	Повторение лекционного материала. Подготовка к занятиям семинарского типа
3.	Переработка ядерного топлива методом жидкостной экстракции	Повторение лекционного материала. Подготовка к занятиям семинарского типа
4.	Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива	Повторение лекционного материала. Подготовка к занятиям семинарского типа
5.	Аффинаж плутония	Повторение лекционного материала. Подготовка к занятиям семинарского типа
6.	Неводные методы переработки ядерного топлива	Повторение лекционного материала. Подготовка к занятиям семинарского типа

3. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

По дисциплине (модулю) предусмотрены следующие виды контроля качества освоения:

- текущий контроль успеваемости;
- промежуточная аттестация обучающихся по дисциплине (модулю).

3.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации по дисциплине (модулю)

№ п/п	Контролируемые темы (разделы)	Наименование оценочного средства
1.	Растворение ядерного топлива	Кейсы
2.	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония	Кейсы
3.	Переработка ядерного топлива методом жидкостной экстракции	Кейсы
4.	Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива	Кейсы
5.	Аффинаж плутония	Кейсы
6.	Неводные методы переработки ядерного топлива	Кейсы

3.1.1 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в процессе текущего контроля успеваемости

Кейсы (ситуации и задачи с заданными условиями)

Пример 1

Разработка аппаратурно-технологической схемы переработки ТВЭЛов ВВЭР-1000 с получением очищенных соединений урана, плутония и нептуния по экстракционной технологии с применением растворов три-н.-бутилфосфата в четыреххлористом углероде. Исходные данные: ядерное топливо-диоксид урана с исходным обогащением -
4.8 % мас., после выгрузки из реактора обогащение - 2.8 % мас., оболочка ТВЭЛа из циркония (1% ниобия), степень выгорания -20000 МВт.сут/т, коэффициент конверсии- 0.3, время охлаждения-3 года.

Пример 2

Разработка аппаратурно-технологической схемы переработки ТВЭЛов РБМК-1000 с получением очищенных соединений урана, плутония и нептуния по экстракционной технологии в сочетании с анионным обменом на стадии разделения плутония и нептуния. Исходные данные: ядерное топливо - диоксид урана - 235 с обогащением по урану - 3.5 % мас., после выгрузки из реактора обогащение - 1.2 % мас., оболочка ТВЭЛа из циркония (

1% ниобия), степень выгорания - 30000 МВт.сут/т, коэффициент конверсии - 0.35, время охлаждения - 3 года.

Пример 3

Разработка аппаратурно-технологической схемы переработки ТВЭЛов Белоярской АЭС с получением очищенных соединений урана, плутония и нептуния по экстракционной технологии с применением растворов три-н.-бутилфосфата в углеводородном разбавителе. Исходные данные: ядерное топливо- металлический уран - 235 с обогащением 3.6 % мас., после выгрузки из реактора обогащение - 3.2 % мас., оболочка ТВЭЛа из нержавеющей стали, степень выгорания -5000 МВт.сут/т, коэффициент конверсии - 0.25, время охлаждения - 2 года. Состав сплава (% мас.): уран - 79, молибден
- 9, магний - 12.

Пример 4

Разработка аппаратурно-технологической схемы переработки отработанного ядерного топлива зоны воспроизводства реактора- размножителя по экстракционной технологии. Исходные данные: ядерное топливо -диоксид тория, оболочка ТВЭЛа из сплава циркония с ниобием, соотношение уран:торий=1:1000, степень выгорания -500 МВт.сут/т, время охлаждения - 2 года.

Пример 5

Разработка аппаратурно-технологической схемы переработки отработанных ТВЭЛов реактора БН-600 с получением очищенных соединений урана, плутония и нептуния по экстракционной технологии. Исходные данные: ядерное топливо - карбид урана-235 с обогащением -25 % мас., после выгрузки обогащение - 20% мас., оболочка ТВЭЛа из нержавеющей стали, степень выгорания -60000 МВт.сут/т, степень конверсии - 0.3, время охлаждения - 3 года.

Пример 6

Разработка аппаратурно-технологической схемы переработки рафинатов с выделением соединений урана, плутония, нептуния, америция, кюрия, берклия и калифорния. Исходные данные: ядерное топливо - диоксид урана с обогащением 3.2 %, после выгрузки - 0.9%,степень выгорания - 30000 МВт.сут/т, степень конверсии - 0.3. Концентрация урана в рафинате - 50 мг/дм, плутония - 1.5 мг/дм^3 , нептуния - 2.10^{-2} мг/дм^3.

Пример 7

Разработка аппаратурно - технологической схемы газоочистки технологических сдувок с узла растворения ядерного топлива. Исходные данные: ядерное топливо - диоксид урана с обогащением 3.5 %, после выгрузки - 1.1%, коэффициент воспроизводства - 0.3, степень

3.1.2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в ходе текущего контроля успеваемости

Кейсы (ситуации и задачи с заданными условиями)

Обучающийся должен уметь выделить основные положения из текста задачи, которые требуют анализа и служат условиями решения. Исходя из поставленного вопроса в задаче, попытаться максимально точно определить проблему и соответственно решить ее.

Задачи могут решаться устно и/или письменно. При решении задач также важно правильно сформулировать и записать вопросы, начиная с более общих и, кончая частными.

Критерии оценивания – оценка учитывает методы и средства, использованные при решении ситуационной, проблемной задачи.

Оценка *«отлично»* ставится в случае, когда обучающийся выполнил задание (решил задачу), используя в полном объеме теоретические знания и практические навыки, полученные в процессе обучения.

Оценка *«хорошо»* ставится, если обучающийся в целом выполнил все требования, но не совсем четко определяется опора на теоретические положения, изложенные в научной литературе по данному вопросу.

Оценка *«удовлетворительно»* ставится, если обучающийся показал положительные результаты в процессе решения задачи.

Оценка *«неудовлетворительно»* ставится, если обучающийся не выполнил все требования.

3.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

3.2.1. Критерии оценки результатов обучения по дисциплине (модулю)

Шкала оценивания	Результаты обучения	Показатели оценивания результатов обучения
ОТЛИЧНО	Знает:	- обучающийся глубоко и всесторонне усвоил материал, уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает, опираясь на знания основной и дополнительной литературы, - на основе системных научных знаний делает квалифицированные выводы и обобщения, свободно оперирует категориями и понятиями.
	Умеет:	- обучающийся умеет самостоятельно и правильно решать учебно-профессиональные задачи или задания, уверенно, логично, последовательно и аргументировано излагать свое решение, используя научные понятия, ссылаясь на нормативную базу.
	Владеет:	- обучающийся владеет рациональными методами (с использованием рациональных методик) решения сложных профессиональных задач, представленных деловыми играми, кейсами и т.д.; При решении продемонстрировал навыки - выделения главного, - связкой теоретических положений с требованиями руководящих документов, - изложения мыслей в логической последовательности, - самостоятельного анализа факты, событий, явлений, процессов в их взаимосвязи и диалектическом развитии.
ХОРОШО	Знает:	- обучающийся твердо усвоил материал, достаточно грамотно его излагает, опираясь на знания основной и дополнительной литературы, - затрудняется в формулировании квалифицированных выводов и обобщений, оперирует категориями и понятиями, но не всегда правильно их верифицирует.
	Умеет:	- обучающийся умеет самостоятельно и в основном правильно решать учебно-профессиональные задачи или задания, уверенно, логично, последовательно и аргументировано излагать свое решение, не в полной мере используя научные понятия и ссылки на нормативную базу.
	Владеет:	- обучающийся в целом владеет рациональными методами решения сложных профессиональных задач, представленных деловыми играми, кейсами и т.д.; При решении смог продемонстрировать достаточность, но не глубинность навыков, - выделения главного, - изложения мыслей в логической последовательности, - связки теоретических положений с требованиями руководящих документов, - самостоятельного анализа факты, событий, явлений, процессов в их взаимосвязи и диалектическом развитии.
УДОВЛЕТВО-РИТЕЛЬНО	Знает:	- обучающийся ориентируется в материале, однако затрудняется в его изложении; - показывает недостаточность знаний основной и дополнительной литературы; - слабо аргументирует научные положения; - практически не способен сформулировать выводы и обобщения; - частично владеет системой понятий.
	Умеет:	- обучающийся в основном умеет решить учебно-профессиональную задачу или задание, но допускает ошибки, слабо аргументирует свое решение, недостаточно использует научные понятия и руководящие документы.
	Владеет:	- обучающийся владеет некоторыми рациональными методами решения сложных профессиональных задач, представленных деловыми

		играми, кейсами и т.д.; При решении продемонстрировал недостаточность навыков - выделения главного, - изложения мыслей в логической последовательности, - связки теоретических положений с требованиями руководящих документов, - самостоятельного анализа факты, событий, явлений, процессов в их взаимосвязи и диалектическом развитии.
НЕУДОВЛЕТВО-РИТЕЛЬНО	Знает:	- обучающийся не усвоил значительной части материала; - не может аргументировать научные положения; - не формулирует квалифицированных выводов и обобщений; - не владеет системой понятий.
	Умеет:	обучающийся не показал умение решать учебно-профессиональную задачу или задание.
	Владеет:	не выполнены требования, предъявляемые к навыкам, оцениваемым «удовлетворительно».

3.2.2. Контрольные задания и/или иные материалы для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов для устных ответов (варианты теста)

1. Влияние легирующих добавок на свойства металлического урана, теплофизические и ядерные характеристики металлического урана и плутония, оксидов, карбидов, нитридов и силицидов - перспективы их применения в энергетических реакторах на медленных и быстрых нейтронах.
2. Изменение изотопного состава урана, плутония и тория во время работы реактора и после выгрузки топлива.
3. Общая характеристика продуктов деления.
4. Необходимость охлаждения ядерного топлива.
5. Конструкции ТВЭЛов.
6. Материал оболочек: нержавеющая сталь, сплавы магния, алюминия, циркония и ниобия.
7. Классификация ТВЭЛов и требования, предъявляемые к ним.
8. Транспортирование ТВЭЛов.
9. Подготовительные операции, предшествующие растворению ядерного топлива: расчехловка, снятие оболочек, резка. Снятие оболочек механическим способом.
10. Химические методы удаления оболочек ТВЭЛов. Удаление оболочек из алюминия.
11. Химические методы удаления оболочек ТВЭЛов. Растворение оболочек из циркония
12. (циркаллоя) в плавиковой, серной кислотах и фториде аммония.
13. Химические методы удаления оболочек ТВЭЛов. Растворение оболочек из нержавеющей стали.
14. Высокотемпературные способы разрушения оболочек из нержавеющей стали.
15. Предварительное удаление газообразных продуктов деления из диоксида урана при термической обработке в атмосфере кислорода (волоксидация).
16. Растворение ядерного топлива. Основные принципы и требования к процессу.
17. Растворение ядерного топлива на основе металлического урана в азотной кислоте. Химизм процесса. Зависимость расхода азотной кислоты от аппаратурного оформления процесса. Состав отходящих газов.
18. Растворение ядерного топлива на основе сплавов урана и алюминия в щелочах и азотной кислоте.
19. Растворение урана с высоким и низким содержанием циркония в кислотах.
20. Растворение сплавов урана с молибденом.
21. Электрохимическое растворение ТВЭЛов.
22. Растворение диоксида урана в азотной кислоте. Особенности растворения.
23. Совместное растворение оболочки из нержавеющей стали и топлива.

24. Источники появления осадков в процессе растворения оксидного ядерного топлива.
25. Типы осадков. Осветление растворов.
26. Обезвреживание газообразных радиоактивных отходов.
27. Аппаратурное оформление процессов химического снятия оболочек и растворения ядерного топлива. Конструкции аппаратов периодического и непрерывного действия.
28. Общая характеристика состояния урана, плутония, нептуния, тория в нитратных растворах.
29. Реакции диспропорционирования нептуния(V) и плутония(IV). Окислители и восстановители, используемые в промышленности для изменения степени окисления нептуния и плутония.
30. Возможные варианты разделения урана и плутония, основанные на соосаждении на носителях. Фосфатно - фторидная схема.
31. Возможные варианты разделения урана и плутония, основанные на соосаждении на носителях. Лантан - сульфатная схема.
32. Возможные варианты разделения урана и плутония, основанные на соосаждении на носителях. Лантан - фторидная схема.
33. Возможные варианты разделения урана и плутония, основанные на соосаждении на носителях. Фторидно - ацетатная схема.
34. Общая характеристика используемых в промышленности экстрагентов и разбавителей.
35. Выбор экстрагента и схемы переработки ядерного топлива.
36. Подготовительные операции (перед экстракцией): корректировка растворов, отгонка йода и рутения, сорбционное извлечение циркония, ниобия и рутения.
37. Схема экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления с помощью гексона.
38. Схема экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления с помощью бутекса.
39. Восстановители, применяемые при реэкстракции плутония. Способы стабилизации состояний - железо(II) и уран(IV) в азотнокислых растворах.
40. Схема экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления с помощью три-н.-бутилфосфата.(слабокислотная)
41. Схема экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления с помощью три-н.-бутилфосфата.(сильнокислотная)
42. Схема экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления с помощью три-н.-бутилфосфата.(ВВЭР)
43. Стабилизация состояний плутония и нептуния в степенях окисления, равных (VI) и (V).
44. Основные принципы разделения нептуния и урана при использовании метода жидкостной экстракции.
45. Основные принципы разделения нептуния и плутония при использовании метода жидкостной экстракции.
46. Экстракционное выделение нептуния, плутония и урана из растворов отработанного ядерного топлива ТБФ (общие принципы).
47. Радиолиз органических растворителей и экстрагентов. Регенерация.
48. Применение углеводородных растворителей в качестве разбавителей для экстракционных систем. Особенности, недостатки и преимущества схем при использовании вышеуказанных разбавителей.
49. Применение четыреххлористого углерода в качестве разбавителя для экстракционных систем. Особенности, недостатки и преимущества схем при использовании вышеуказанного разбавителя.

50. Экстракционная переработка растворов, получаемых после растворения сплавов и композиций урана с цирконием и нержавеющей сталью.
51. Концентрирование плутония и нептуния при использовании третичных аминов в качестве экстрагентов. Реэкстракция плутония и нептуния из органической фазы.
52. Схемы извлечения урана из облученного тория три-н.-бутилфосфатом.
53. Экстракционное разделение урана, тория и протактиния. Способы извлечения протактиния-233 из растворов.
54. Круг задач, решаемых с помощью метода ионного обмена в технологии обработанного ядерного топлива. Процессы радиолиза ионообменных материалов.
55. Разделение урана, плутония и нептуния с использованием анионитов. Стабилизация степеней окисления плутония и нептуния в ионообменной технологии.
56. Концентрирование плутония ионным обменом (на катионитах)
57. Концентрирование плутония ионным обменом (на анионитах). 56.Концентрирование плутония противоточной экстракцией.
58. Состояние урана, плутония, нептуния и продуктов деления в азотнокислых растворах, содержащих пероксид водорода, оксалат- и фторид-ионы.
59. Осадительный аффинаж плутония. Осаждение плутония в форме оксалатов.
60. Осадительный аффинаж плутония. Осаждение плутония в форме пероксида.
61. Осадительный аффинаж плутония. Осаждение плутония в форме фторидов. Восстановление плутония до металла.
62. Газофторидный способ регенерации отработанного ядерного топлива. Физико-химические свойства фторидов урана, плутония, продуктов деления и коррозии.
63. Газофторидный способ регенерации отработанного ядерного топлива. Разделение гексафторидов урана и плутония.
64. Классификация радиоактивных отходов. Источники отходов. Концентрирование отходов.
65. Способы извлечения из радиоактивных отходов технеция, циркония, ниобия, редкоземельных элементов, стронция, цезия.
66. Способы извлечения из радиоактивных отходов трансплутониевых элементов (ТПЭ).
67. Групповое разделение ТПЭ и редкоземельных элементов (РЗЭ) из радиохимических отходов. Разделение ТПЭ и РЗЭ методами жидкостной экстракции.
68. Групповое разделение ТПЭ и редкоземельных элементов (РЗЭ) из радиохимических отходов. Разделение ТПЭ и РЗЭ методами ионного обмена.
69. Высаливающее действие азотной кислоты на экстракцию нитратов уранила и тория растворами три-н.-бутилфосфата в керосине.
70. Высаливающее действие нитратов аммония и алюминия(Ш) на экстракцию нитратов уранила и тория растворами три-н.-бутилфосфата в керосине.
71. Влияние соотношения фаз на экстракцию нитрата уранила растворами три-н.-бутилфосфата в керосине. Экстракционная очистка урана (VI) от продуктов деления.
72. Ионообменное извлечение урана из растворов облученного тория.
73. Ионообменное извлечение свободного от носителя изотопа 234Th (UX1) из растворов солей уранила(VI).

3.2.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков в ходе промежуточной аттестации

Процедура оценивания знаний (тест)

Предлагаемое количество заданий	20
Последовательность выборки	Определена по разделам
Критерии оценки	- правильный ответ на вопрос
«5» если	правильно выполнено 90-100% тестовых заданий

«4» если	правильно выполнено 70-89% тестовых заданий
«3» если	правильно выполнено 50-69% тестовых заданий

Процедура оценивания знаний (устный ответ)

Предел длительности	10 минут
Предлагаемое количество заданий	2 вопроса
Последовательность выборки вопросов из каждого раздела	Случайная
Критерии оценки	- требуемый объем и структура - изложение материала без фактических ошибок - логика изложения - использование соответствующей терминологии - стиль речи и культура речи - подбор примеров их научной литературы и практики
«5» если	требования к ответу выполнены в полном объеме
«4» если	в целом выполнены требования к ответу, однако есть небольшие неточности в изложении некоторых вопросов
«3» если	требования выполнены частично – не выдержан объем, есть фактические ошибки, нарушена логика изложения, недостаточно используется соответствующая терминологии

Процедура оценивания умений и навыков (решение проблемно-аналитических и практических учебно-профессиональных задач)

Предлагаемое количество заданий	1
Последовательность выборки	Случайная
Критерии оценки:	- выделение и понимание проблемы - умение обобщать, сопоставлять различные точки зрения - полнота использования источников - наличие авторской позиции - соответствие ответа поставленному вопросу - использование социального опыта, материалов СМИ, статистических данных - логичность изложения - умение сделать квалифицированные выводы и обобщения с точки зрения решения профессиональных задач - умение привести пример - опора на теоретические положения - владение соответствующей терминологией
«5» если	требования к ответу выполнены в полном объеме
«4» если	в целом выполнены требования к ответу, однако есть небольшие неточности в изложении некоторых вопросов. Затрудняется в формулировании квалифицированных выводов и обобщений
«3» если	требования выполнены частично – пытается обосновать свою точку зрения, однако слабо аргументирует научные положения, практически не способен самостоятельно сформулировать выводы и обобщения, не видит связь с профессиональной деятельностью

4. Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

4.1. Электронные учебные издания

1. Беденко, С. В. Ядерная физика: хранение облученного керамического ядерного топлива : учебное пособие для вузов / С. В. Беденко, И. В. Шаманин. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 191 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04071-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/492716 .
2. Гаршин, А. П. Композиционные материалы в машиностроении. Керамические материалы / А. П. Гаршин, Г. П. Зайцев ; Под ред.: Гаршин А. П.. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 412 с. — ISBN 978-5-8114-9983-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/202157 . — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Алексеев, С. В. Дисперсионное ядерное топливо / С. В. Алексеев, В. А. Зайцев, С. С. Толстоухов. — Москва : Техносфера, 2015. — 248 с. — ISBN 978-5-94836-428-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/87736 . — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4.2. Электронные образовательные ресурсы

1. Электронная библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» Biblio-online.ru (ЭБС «Юрайт») [Электронный ресурс]. – URL: https://urait.ru/.
2. Электронно-библиотечная система ZNANIUM [Электронный ресурс]. – URL: https://znanium.com/.
3. Электронная библиотечная система «Консультант студента» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.studentlibrary.ru/.
4. e-Library.ru: Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – URL: http://elibrary.ru/.
5. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» [Электронный ресурс]. – URL: http://cyberleninka.ru/.
6. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]. – URL: http://window.edu.ru/.
7. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов [Электронный ресурс]. – URL: http://fcior.edu.ru/.

4.3. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к ниже следующим современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам:

1. Словари и энциклопедии на Академике [Электронный ресурс]. – URL: http://dic.academic.ru.
2. Система информационно-правового обеспечения «Гарант» [Электронный ресурс]. – URL: http://ivo.garant.ru/.

4.4. Комплект лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

1. Лицензионное программное обеспечение: операционная система Microsoft Windows, пакет офисных приложений Microsoft Office.
2. Свободно распространяемое программное обеспечение: свободные пакеты офисных приложений Apache Open Office, LibreOffice.
3. Программное обеспечение отечественного производства: справочно-правовая система «Гарант» (Электронный периодический справочник «Система ГАРАНТ»), образовательная платформа ЮРАЙТ (Электронная библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» Biblio-online.ru (ЭБС «Юрайт»)), электронно-библиотечная система ZNANIUM, электронная библиотечная система «Консультант студента».

4.5. Оборудование и технические средства обучения

Для реализации дисциплины (модуля) используются учебные аудитории для проведения учебных занятий, которые оснащены оборудованием и техническими средствами обучения, и помещения для самостоятельной работы обучающихся, которые оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду РХТУ им. Д.И. Менделеева. Допускается замена оборудования его виртуальными аналогами.

Наименование учебных аудиторий для проведения учебных занятий и помещений для самостоятельной работы*	**Оснащенность учебных аудиторий для проведения учебных занятий и помещений для самостоятельной работы оборудованием и техническими средствами обучения**
Учебные аудитории для проведения учебных занятий	Учебная аудитория укомплектована специализированной мебелью, отвечающей всем установленным нормам и требованиям, оборудованием и техническими средствами обучения (мобильное мультимедийное оборудование).
Помещение для самостоятельной работы	Помещение оснащено компьютерной техникой с

	возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РХТУ им. Д.И. Менделеева и к ЭБС.

* Номер конкретной аудитории указан в приказе об аудиторном фонде, расписании учебных занятий и расписании промежуточной аттестации.