

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шевчик Андрей Павлович
Должность: Врио ректора
Дата подписания: 23.06.2021 14:49:50
Уникальный программный ключ:
e1e4bb0d4ab042490a99c40e31641575580ad1a202c444b0f04635f200db7603



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной
и методической работе
_____ Б.В. Пекаревский
«_____» _____ 2017 г.

Рабочая программа дисциплины
РАДИОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОЯТ
(Начало подготовки – 2017 год)

Специальность
18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Специализация:
№ 01 Химическая технология материалов ядерного топливного цикла (ЯТЦ)

Квалификация

Инженер

Форма обучения

Очная

Факультет **инженерно-технологический**

Кафедра **технологии редких элементов и наноматериалов на их основе**

Санкт-Петербург

2016

Б1.Б.27.03

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Разработчики доцент		доцент В.А. Кескинов

СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы	9
3. Объем дисциплины	9
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий	10
4.2. Занятия лекционного типа	11
4.3. Занятия семинарского типа	15
4.4. Самостоятельная работа	17
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	18
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	18
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	19
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины	21
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	21
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии	21
10.2. Программное обеспечение	22
10.3. Информационные справочные системы	22
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	22
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья	22
Приложение	23

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения образовательной программы специалитета обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

<i>Коды компетенции</i>	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-5	ОПК-5 пониманием значения информации в современном мире, способностью решать задачи профессиональной деятельности с применением информационных технологий с учетом основных требований информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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), само растворение, 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, пиропродцессы), способы улавливания радиоактивных и ценных нуклидов из газовой фазы; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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

Коды компетенции	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
		<p>процессов;</p> <ul style="list-style-type: none"> - - проводить исследования с применением радиоактивных нуклидов по очистке урана и плутония ионообменными, экстракционными и осадительными методами. - Владеть: <ul style="list-style-type: none"> -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..
ПК-4	ПК-4 способностью принимать конкретное техническое решение с учетом охраны труда, радиационной безопасности и охраны окружающей среды;	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - - 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

<i>Коды компетенции</i>	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
		<p>оптимальных условий проведения процессов;</p> <p>– - проводить исследования с применением радиоактивных нуклидов по очистке урана и плутония ионообменными, экстракционными и осадительными методами.</p> <p>Владеть:</p> <p>- 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;</p> <p>– современной компьютерной базой литературных и патентных данных технологии переработки облученного ядерного топлива.</p>
ПСК-1.1	ПСК-1.1 способностью к безопасному проведению, контролю, усовершенствованию и разработке технологических процессов производства основных функциональных материалов ЯТЦ, в том числе с использованием радиоактивных материалов	<p>Знать:</p> <p>- 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;</p> <p>- неводные процессы переработки отработанного ядерного топлива (фторидная технология, пиропродцессы), способы улавливания радиоактивных и ценных нуклидов из газовой фазы;</p> <p>Уметь:</p> <p>– - на основе имеющихся исходных данных правильно организовывать технологический процесс, обеспечивающий получение ценных компонентов, отвечающий требованиям ТУ и ГОСТов;</p> <p>– -выбирать конструкционные материалы и оборудование для обеспечения оптимальных условий проведения процессов;</p> <p>– - проводить исследования с</p>

<i>Коды компетенции</i>	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
		<p>применением радиоактивных нуклидов по очистке урана и плутония ионообменными, экстракционными и осадительными методами.</p> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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.
ПСК-1.2	ПСК-1.2 способностью осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные параметры, технические характеристики технологического оборудования; - принцип действия аппарата; - устройство и назначение аппаратуры - методы оценки эффективности производства; - общие закономерности химических процессов в технологии редких и радиоактивных элементов; - 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; - неводные процессы переработки отработанного ядерного топлива (фторидная технология, пиропроецессы), 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;

<i>Коды компетенции</i>	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
		<p>- перспективные схемы с получением ценных нуклидов из числа трансплутониевых элементов и продуктов деления.</p> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> – - 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. <p>–</p> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. - 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.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к базовым дисциплинам специализации (Б1.Б.27.03), изучается на 5 курсе в 9-ом и «А» семестрах.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин естественнонаучного и профессионального циклов, в том числе: «Введение в специальность», «Математика», «Безопасность жизнедеятельности», «Общая и неорганическая химия», «Электротехника», «Материаловедение», «Процессы и аппараты химической технологии», «Общая химическая технология», а также опирается на специальные дисциплины: «Основы ядерной физики и дозиметрии», «Радиохимия» и другие.

Полученные в процессе изучения дисциплины «Радиохимическая переработка ОЯТ» знания, умения и навыки могут быть использованы при прохождении практик, при выполнении выпускной квалификационной работы (государственной итоговой аттестации) и при решении научно-исследовательских, проектно-конструкторских, производственно-технологических, организационно-управленческих задач в будущей профессиональной деятельности.

3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, академических часов	Семестры	
		9-ой	А
Общая трудоемкость дисциплины (зачетных единиц/ академических часов)	8/288	4/144	4/144
Контактная работа с преподавателем:	144	54	90
занятия лекционного типа	36	36	
занятия семинарского типа, в т.ч.			
семинары, практические занятия	18	18	
лабораторные работы	90		90
курсовое проектирование (КР или КП)			
КСР			
другие виды контактной работы (КОНТРОЛЬ)	27	27	
Самостоятельная работа	117	63	54
Форма текущего контроля (Кр, реферат, РГР, эссе)	Тесты, инд. задания		
Форма промежуточной аттестации (КР, КП, зачет, экзамен)		Экз. 27	Зачет

4. Содержание дисциплины.

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
Семестр 9						
1	Введение.	2			44	
2	Характеристика ядерного топлива	4			19	ОПК-5; ПСК-1.1
3	Растворение ядерного топлива	4	2			ПК-4; ПСК-1.1; 1.2
4	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония	2				ОПК-5; ПК-4; ПСК-1.1; 1.2
5	Переработка ядерного топлива методом жидкостной экстракции	12	4			ОПК-5; ПК-4; ПСК-1.1; 1.2
6	Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива	4	4			ОПК-5; ПК-4;
7	Неводные методы переработки ядерного топлива	4	4			ОПК-5; ПСК-1.2
8	Аффинаж плутония	4	4			ПСК-1.1; 1.2
	Зачет					
	ИТОГО:	36	18		63	
Семестр А						
2	Характеристика ядерного топлива				12	ОПК-5; ПСК-1.1
4	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония			30		ПСК-1.1; 1.2
5	Переработка ядерного топлива методом жидкостной экстракции			30	20	ПСК-1.1; 1.2
6	Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива			30		ОПК-5; ПК-4;
8	Неводные методы переработки ядерного топлива				22	ОПК-5; ПСК-1.2
	ИТОГО:			90	54	

4.2. Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p><u>Введение.</u> Краткий исторический обзор и вклад Российских и зарубежных ученых в развитие технологии отработанного ядерного топлива. Перспективы развития атомной энергетики в России и странах СНГ. Основные тенденции в развитии реакторостроения и новых областей использования атомной энергии. Проблемы, возникающие в связи с широким строительством АЭС, освоением реакторов на быстрых нейтронах, переработкой малоохлажденного ядерного топлива, извлечением ценных изотопов, захоронением радиоактивных отходов и др. Экономические и экологические аспекты целесообразности использования атомной энергии для выработки электроэнергии, теплофикации больших городов, функционирования промышленных комплексов и др. целей. Необходимая степень очистки урана, тория и плутония от продуктов деления. Требования, предъявляемые к очищенному урану, торию и плутонию. Структура дисциплины, ее объем, форма отчетности студентов. Значение дисциплины для подготовки специалистов (инженеров - химиков – технологов).</p>	2	
2	<p><u>Характеристика ядерного топлива.</u> Виды ядерного топлива. Процессы, происходящие при облучении нейтронами металлического и керамического ядерного топлива. 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. Изменение изотопного состава урана, плутония и тория во время работы реактора и после выгрузки топлива. Общая характеристика продуктов деления. Необходимость охлаждения ядерного топлива. Конструкции ТВЭЛов. Материал оболочек: нержавеющая сталь, сплавы магния, алюминия, циркония и ниобия. Способы увеличения теплопередачи от сердечника ТВЭЛов к оболочке. Диспергирование керамического ядерного топлива в нержавеющей стали, цирконии, графите и др. материалах.</p>	4	Слайды-презентация

3	<p><u>Растворение ядерного топлива.</u> 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 (циркаллой) 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). 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 (III, 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.</p>	4	Слайды-презентация
---	---	---	--------------------

4	<p><u>Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония.</u></p> <p>Сокристаллизация плутония (III, 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. Поведение урана, плутония и продуктов деления на отдельных стадиях процесса. Особенности этих схем, их преимущества и недостатки. Разделение плутония и нептуния на носителях.</p>	2	Слайды-презентация
5	<p><u>Переработка ядерного топлива методом жидкостной экстракции.</u> 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. Радиоллиз 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.</p>	12	Слайды-презентация

6	<p><u>Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива.</u> 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.</p>	4	Слайды-презентация
7	<p><u>Аффинаж плутония.</u> Меры предосторожности, применяемые при работе с плутонием и обогащенным ураном. Параметры, определяющие возможность возникновения критической 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(III, IV) в форме оксалатов, пероксида, трифторида и двойной соли фторидов кальция и плутония, гидрофторирование и восстановления плутония до металла.</p>	4	Слайды-презентация
8	<p><u>Неводные методы переработки ядерного топлива.</u> 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 пиро процессов, их достоинства и недостатки.</p>	4	Слайды-презентация

4.3. Занятия семинарского типа.

4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3	Ядерный топливный цикл, основные стадии и варианты его реализации	2	Слайды-презентация
3	Химические и физико-химические свойства актиноидов	2	
5	Физико-химические основы экстракции актиноидов. Экстрагенты и разбавители.	2	
3	Критические параметры цепной реакции при участии ^{235}U , ^{233}U и ^{239}Pu . Обеспечение ядерной безопасности путем ограничения массы делящегося нуклида, его концентрации в растворе, объема, толщины слоя, диаметра цилиндра. Меры безопасности при работе с соединениями плутония. Причины возникновения нейтронных полей при работе с препаратами плутония.	2	
5	Аппаратурное оформление процесса экстракции. Критерии выбора.	2	Слайды-презентация
7	Получение оксидов из регенерированного ядерного топлива	2	
6	Получение ^{238}Pu и его применение	2	
6	Выделение америция и кюрия	2	
7	Обезвреживание газообразных радиоактивных отходов	2	Слайды-презентация

4.3.2. Лабораторные занятия.

№	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час)
1	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония (№ 4)	Лантан - сульфатная схема извлечения плутония из растворов урана	30
2	Переработка ядерного топлива	Применение экстракционных процессов при очистке урана. Высаливающее действие	30

	методом жидкостной экстракции (№5)	азотной кислоты на экстракцию нитратов уранила и тория растворами три-н.-бутилфосфата в керосине. Высаливающее действие нитратов аммония и алюминия(III) 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	
3	Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива (№ 6)	Ионообменные методы концентрирования и очистки урана. Ионообменное извлечение урана из растворов облученного тория. Ионообменное извлечение свободного от носителя изотопа ^{234}Th (UX ₁) из растворов солей уранила(VI).	30
	ИТОГО		90

4.4. Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Положение актиноидов в периодической системе, их электронные конфигурации, сравнение с лантаноидами. Актиниодная и уранидная теории.	12	Устный опрос №1
1	Окислительно-восстановительные свойства и потенциалы. Сравнение скорости и механизма окислительно-восстановительных реакций урана, нептуния и плутония	18	Устный опрос №2
1	Гидролиз и комплексообразование актиноидов	14	Устный опрос №3
2	Основы производства ядерной энергии. Ядерные реактора, основные типы ядерных энергетических установок (ЯЭУ)	19	Устный опрос №4
2	Характеристика основных продуктов деления, их классификация. Зависимость выхода от типа реактора и глубины выгорания.	12	Устный опрос №5
5	Особенности переработки топлива реакторов на быстрых нейтронах; транспортировка, хранение, резка и растворение сборок, переработка и ядерная безопасность	12	Устный опрос №6
5	Переработка облученного топлива уран-ториевых реакторов	8	Устный опрос №7
8	Неводные методы. Фторирование отработанного ядерного топлива элементарным фтором, трифторидами брома и хлора. Очистка урана от плутония и продуктов деления методом вакуумной возгонки. Экстракция плутония и продуктов деления из расплавленного урана серебром и магнием. Зонная плавка. Фракционное осаждение интерметаллических соединений урана с ртутью и цинком из расплавов. Использование магния для разделения урана и тория. Экстракция в системе расплавленная соль - жидкий металл. Рафинированная плавка (окислительное шлакование). Электрорафинирование.	22	Устный опрос №8
		Итого	117

Контроль освоения компетенций проводится в форме устных опросов, по результатам лабораторных работ.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru> .

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена и зачета.

К сдаче экзамена и зачета допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля.

И экзамен, и зачет предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуются вопросами (заданиями) двух видов: теоретический вопрос (для проверки знаний) и комплексная задача в виде индивидуального расчетного задания (для проверки умений и навыков).

При сдаче экзамена, студент получает три вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 60 мин.

Пример варианта вопросов на экзамене:

Вариант № 1

1. Предварительное удаление газообразных продуктов деления из диоксида урана при термической обработке в атмосфере кислорода (волоксидация).
- 2.Схема экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления с помощью три-н.-бутилфосфата.(сильнокислотная)
- 3.Вопрос по индивидуальному творческому заданию

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 20 мин.

Пример варианта вопросов на зачете:

Вариант № 1

1. Применение углеводородных растворителей в качестве разбавителей для экстракционных систем. Особенности, недостатки и преимущества схем при использовании вышеуказанных разбавителей.
2. Влияние соотношения фаз на экстракцию нитрата уранила растворами три-н.-бутилфосфата в керосине. Экстракционная очистка урана (VI) от продуктов деления

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1. Литература

а) основная литература:

1. Мурашкин, Ю.В. Расчет материальных балансов и основных параметров ионообменной установки по извлечению редких элементов из водных растворов. Аппаратурное оформление: учебное пособие/ Ю.В. Мурашкин, А.А. Блохин. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.-68 с. (Э Б)
2. Краткая энциклопедия урана / А. Акатов, Ю. Коряковский. - СПб. : Фонд развития модульного обучения "Петерфонд", 2013. - 113 с.
3. Пяртман, А. К. Определение изотерм экстракции нитрата уранила (VI) при использовании полимерных композиционных материалов с три-н.-бутилфосфатом [Текст] : методические указания / А. К. Пяртман ; СПбГТИ(ТУ). Каф. технологии ред. элементов и наноматериалов на их основе. - СПб. : [б. и.], 2012. - 22 с.
4. Химия d- и f-элементов III группы: Учебное пособие / В. И. Башмаков, С. А. Симанова, Т. Б. Пахомова и др. ; СПбГТИ(ТУ). Каф. неорганической химии. - СПб. : [б. и.], 2011. - 28 с. :
5. Блохин, А. А. Кинетика ионного обмена : Методические указания / А. А. Блохин, Ю. В. Мурашкин, А. А. Копырин ; СПбГТИ(ТУ). Каф. технологии ред. и рассеян. элементов. - СПб. : [б. и.], 2009. - 21 с. (ЭБ).

б) дополнительная литература:

1. Копырин, А.А. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива. / А.А.Копырин, А.И. Карелин, В.А. Карелин М.: Атомэнергоиздат., 2006. 576с.
2. Комби, Бруно. Защитники природы за атомную энергию [Текст] : позитивный взгляд на ядерную электроэнергетику исходя из перспективы охраны окружающей среды / Б. Комби; пер. на рус. яз. В. Коваленко, М. Подставковой. - М. : [б. и.], 2009. - 395 с. : ил. - (Библиотечка Общественного совета Госкорпорации "Росатом").

в) вспомогательная литература:

1. Громов, Б.В. Химическая технология облученного ядерного топлива. / Громов Б.В., Савельева В.И., Шевченко В.Б.М.: Энергоатомиздат.1983.352 с.
2. Ионообменные методы концентрирования и очистки урана: Метод.указания / Сост. В.П.Гаушканов. ЛТИ им.Ленсовета. Л.: 1982. 24с.
3. Блохин, А. А. Ионообменный метод извлечения соединений редких элементов : Методические указания / А. А. Блохин, Ю. В. Мурашкин, А. А. Копырин ; СПбГТИ(ТУ). Каф. технологии ред. и рассеян. элементов. - СПб. : [б. и.], 2003. - 19 с.
4. Блохин, А. А. Определение физико-химических характеристик ионитов : Методические указания / А. А. Блохин, Ю. В. Мурашкин, А. А. Копырин; СПбГТИ(ТУ). Каф. технологии ред. и рассеян. элементов. - СПб. : [б. и.], 2003. - 29 с.
5. Радиохимическая переработка ядерного топлива АЭС /В.И.Землянухин, Е.И.Ильенко, С.Н.Кондратьев и др. М.:Энергоатомиздат.1983.232 с.

6. Подготовка облученного ядерного топлива к химической переработке / А.Т.Агеенков, Э.А.Ненарокомов, В.И.Савельева, А.Б. Ястребов. М.: Энергоатомиздат. 1982. 128с.
7. Шведов, В.П. Ядерная технология. / Шведов В.П., Седов В.М., Рыбальченко Л.И., Власов И.Н. М.: Атомиздат. 1978. 57с.
8. Химическая технология облученного ядерного горючего / Под ред. В.Б.Шевченко. М.: Атомиздат. 1971. 448с.
9. Зильберман Я.И. Основы химической технологии искусственных радиоактивных элементов / Я.И.Зильберман М.: Госатомиздат. 1961. 332с.
10. Переработка ядерного горючего / Под ред. С.Столера и Р.Ричардса. Пер. с англ. М.: Атомиздат. 1964. 648 с.
11. Переработка топлива энергетических реакторов: Сб.статей / Под ред.В.Б.Шевченко. Пер с англ. М.: Атомиздат. 1972. 264с.
12. Плутоний: Справочник / Под ред. А.Вика.Пер с англ. т.1-2. М.: Атомиздат. 1971-3. 424с.
13. Петерсон, З. Химия в атомной технологии. / Петерсон З. Уаймер Р. Пер. с англ. М.: Атомиздат.1967.430 с.
14. Кузнецов, Ю.В. Основы очистки воды от радиоактивных загрязнений. //Кузнецов Ю.В., Щебетковский В.Н., Трусов А.Г. М.:Атомиздат. 1974.360 с.
15. Руководство к практическим занятиям по радиохимии / Под ред. А.Н.Несмеянова М.: Химия. 1980. 582с. Лантан-сульфатная схема извлечения плутония из растворов урана: Метод.указания / Сост.В.П.Таушканов. ЛТИ им.Ленсовета. Л.: 1985. 20с.
16. Применение экстракционных процессов при очистке урана: Метод.указания / Сост. В.П.Таушканов ЛТИ им.Ленсовета. Л.: 1984. 24с.
17. Пяртман, А. К. Фазовые равновесия "жидкость-жидкость" в системах, содержащих координационные сольваты лантаноидов и актиноидов : учебное пособие / А. К. Пяртман, В. А. Кескинов ; СПбГТИ(ТУ). Каф. технологии ред. и рассеян. элементов. - СПб. : [б. и.], 2005. - 101 с. : ил. - Библиогр.: с. 97-101. (ЭБ).

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.technolog.edu.ru>
«Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;
«Лань» <https://e.lanbook.com/books/>.

1. Кузнецова, И.М. Общая химическая технология. Основные концепции проектирования ХТС. [Электронный ресурс] / И.М. Кузнецова, Х.Э. Харлампики, В.Г. Иванов, Э.В. Чиркунов. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2014. — 384 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/45973>.

2. Смирнов, Н.Н. Альбом типовой химической аппаратуры (принципиальные схемы аппаратов). [Электронный ресурс] / Н.Н. Смирнов, В.М. Барабаш, К.А. Карпов. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2017. — 84 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/91283>.

3. Нифталиев, С.И. Теория и практика очистки неорганических веществ. [Электронный ресурс] / С.И. Нифталиев, С.Е. Плотникова, А.В. Астапов. — Электрон. дан. — Воронеж : ВГУИТ, 2014. — 63 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72914>.

4. Прокофьев, В.Ю. Оборудование производств неорганических веществ. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Иваново : ИГХТУ, 2015. — 115 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/69971>.

5. Прокофьев, В.Ю. Основы проектирования производств неорганических веществ. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Иваново : ИГХТУ, 2015. — 131 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/69972>.

6. Тананаев, И.Г. Уран: учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : НИЯУ МИФИ, 2011. — 92 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/75976>.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Все виды занятий по дисциплине «Радиохимическая переработка ОЯТ» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКВД. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

10.1. Информационные технологии.

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
взаимодействие с обучающимися посредством электронной почты.

10.2. Программное обеспечение.

Microsoft Office (Microsoft Excel);

10.3. Информационные справочные системы.

Справочно-поисковая система «Консультант-Плюс»

11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для проведения лекционных и практических занятий используется учебная аудитория, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения лекционных и практических занятий используются видеоматериалы и учебные фильмы.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду СПбГТИ(ТУ).

Лаборатории, укомплектованные специализированной мебелью, оснащены лабораторным оборудованием: спектрофотометры СФ-46, фотоколориметр, весы технические и аналитические, рН-метры, радиометрическое оборудование.

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования оснащены специализированной мебелью и техническими средствами.

12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебный процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014 г.

**Фонд оценочных средств
для проведения промежуточной аттестации по
дисциплине «Радиохимическая переработка ОЯТ»**

1. Перечень компетенций и этапов их формирования.

Компетенции		
Индекс	Формулировка	Этап формирования
ОПК-5	пониманием значения информации в современном мире, способностью решать задачи профессиональной деятельности с применением информационных технологий с учетом основных требований информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны	промежуточный
ПК-4	способностью принимать конкретное техническое решение с учетом охраны труда, радиационной безопасности и охраны окружающей среды;	промежуточный
ПСК-1.1	способностью к безопасному проведению, контролю, усовершенствованию и разработке технологических процессов производства основных функциональных материалов ЯТЦ, в том числе с использованием радиоактивных материалов;	промежуточный
ПСК-1.2	способностью осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО	промежуточный

2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания.

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Введение.	Знание основных тенденций в развитии реакторостроения и новых областей использования атомной энергии; проблем, возникающих в связи с широким строительством АЭС, освоением реакторов на быстрых нейтронах, захоронением радиоактивных отходов и др. Понимание перспективы развития атомной энергетики в России и странах СНГ; экономических и экологических аспектов целесообразности использования атомной энергии для выработки электроэнергии, теплофикации больших городов, функционирования промышленных комплексов и др. целей.	Правильные ответы на вопросы №1-3 к экзамену	ОПК-5; ПК-4; ПСК-1.1; ПСК-1.2
Освоение раздела № 2. Характеристика ядерного топлива.	Знание видов ядерного топлива. Понимание процессов, происходящих при облучении нейтронами металлического и керамического ядерного топлива. Умение оценить изменение изотопного состава урана, плутония и тория во время работы реактора и после выгрузки топлива. Знание общей характеристики продуктов деления; конструкции ТВЭЛов; материалов оболочек.	Правильные ответы на вопросы №1-9 к экзамену	ОПК-5; ПК-4; ПСК-1.1; ПСК-1.2

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела №3. Растворение ядерного топлива	<p>Знание подготовительных операций, предшествующие растворению ядерного топлива; процессов растворения ядерного топлива на основе металлического урана в азотной кислоте.</p> <p>Понимание химизма процессов. Знание процессов предварительного удаления газообразных продуктов деления из диоксида урана при термической обработке в атмосфере кислорода (волоксидация); процессов растворения диоксида урана в азотной кислоте.</p> <p>Понимание источников появления осадков в процессе растворения оксидного ядерного топлива</p> <p>Умение выбора аппаратурное оформление процессов химического снятия оболочек и растворения ядерного топлива.</p> <p>Знание состояния урана, плутония, нептуния, тория и продуктов деления в нитратных растворах; окислителей и восстановителей, используемые в промышленности для изменения степени окисления нептуния и плутония.</p>	Правильные ответы на вопросы №10-28 к экзамену	ОПК-5; ПК-4; ПСК-1.1; ПСК-1.2
Освоение раздела № 4. Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония	<p>Знание процессов сокристаллизация плутония (III, IV) с фосфатом висмута, фторидом лантана, двойными сульфатами лантана и калия и др. соединениями; возможных вариантов разделения урана и плутония, основанные на соосаждении на носителях.</p> <p>Знание фосфатно - фторидной, лантан - сульфатной и фторидно - ацетатной схемы; поведения урана, плутония и продуктов деления на отдельных стадиях процесса.</p> <p>Знание особенностей этих схем, их преимуществ и недостатков.</p> <p>Понимание процесса разделения плутония и нептуния на носителях.</p>	Правильные ответы на вопросы №29-32 к экзамену	ОПК-5; ПК-4; ПСК-1.1; ПСК-1.2

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела №5. Переработка ядерного топлива методом жидкостной экстракции	<p>Знание общей характеристики используемых в промышленности экстрагентов и разбавителей.</p> <p>Понимание круга задач, решаемых с помощью метода жидкостной экстракции в технологии отработанного ядерного топлива.</p> <p>Умение выбора экстрагента и схемы переработки для ядерного топлива различных видов.</p> <p>Знание основных принципов разделения нептуния и урана, а также нептуния и плутония при использовании метода жидкостной экстракции; различных схем экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления.</p> <p>Понимание особенностей, недостатков и преимущества различных схем.</p> <p>Знание процессов концентрирования плутония и нептуния при использовании третичных аминов в качестве экстрагентов; концентрирования и очистки урана на катионитах и методом жидкостной экстракции.</p>	Правильные ответы на вопросы №33-52 к экзамену	ОПК-5; ПК-4; ПСК-1.1; ПСК-1.2
Освоение раздела № 6. Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива	<p>Знание процессов радиолитического ионообменных материалов; концентрирования плутония на катионитах и анионитах.</p> <p>Понимание круга задач, решаемых с помощью метода ионного обмена в технологии отработанного ядерного топлива.</p> <p>Знание процессов разделение урана, плутония и нептуния с использованием анионитов; разделения редкоземельных и трансплутониевых элементов на катионитах; концентрирования радионуклидов на ионообменных смолах.</p>	Правильные ответы на вопросы №52-60 к экзамену	ОПК-5; ПК-4; ПСК-1.1; ПСК-1.2
Освоение раздела № 7. Аффинаж плутония	Знание процессов концентрирования плутония выпариванием, ионным обменом и противоточной экстракцией. Понимание состояния	Правильные ответы на вопросы №63-72 к экзамену	ОПК-5; ПК-4; ПСК-1.1;

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
	урана, плутония, нептуния и продуктов деления в азотнокислых растворах, Знание процессов осаждения плутония в форме оксалатов, пероксида, трифторида и двойной соли фторидов кальция и плутония, процессов гидрофторирования и восстановления плутония до металла		ПСК-1.2
Освоение раздела № 8. Неводные методы переработки ядерного топлива	Знание физико-химических свойств фторидов урана, плутония, продуктов деления и коррозии. Понимание процесса разделение гексафторидов урана и плутония. Умение дать общую характеристику пиропроцессов, их достоинств и недостатков	Правильные ответы на вопросы № 61-62 к экзамену	ОПК-5; ПК-4; ПСК-1.1; ПСК-1.2

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):
промежуточная аттестация проводится в форме экзамена и зачета, результат оценивания экзамена – балльный, зачета – «зачтено» или «не зачтено».

3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации.

а) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ОПК-5, ПК-4, ПСК-1.1, ПСК-1.2:

1. Виды ядерного топлива. Процессы, происходящие при облучении нейтронами металлического и керамического ядерного топлива.
2. 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.
3. Изменение изотопного состава урана, плутония и тория во время работы реактора и после выгрузки топлива.
4. Общая характеристика продуктов деления.
5. Необходимость охлаждения ядерного топлива.
6. Конструкции ТВЭЛов.
7. Материал оболочек: нержавеющая сталь, сплавы магния, алюминия, циркония и ниобия.
8. Классификация ТВЭЛов и требования, предъявляемые к ним.
9. Транспортирование ТВЭЛов.
10. Подготовительные операции, предшествующие растворению ядерного топлива: расчехловка, снятие оболочек, резка. Снятие оболочек механическим способом.
11. Химические методы удаления оболочек ТВЭЛов. Удаление оболочек из алюминия.
12. Химические методы удаления оболочек ТВЭЛов. Растворение оболочек из циркония (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. Типы осадков. Осветление растворов.
25. Обезвреживание газообразных радиоактивных отходов.
26. Аппаратурное оформление процессов химического снятия оболочек и растворения ядерного топлива. Конструкции аппаратов периодического и непрерывного действия.
27. Общая характеристика состояния урана, плутония, нептуния, тория в нитратных растворах.
28. Реакции диспропорционирования нептуния(V) и плутония(IV). Окислители и восстановители, используемые в промышленности для изменения степени окисления нептуния и плутония.
29. Возможные варианты разделения урана и плутония, основанные на соосаждении на носителях. Фосфатно - фторидная схема.
30. Возможные варианты разделения урана и плутония, основанные на соосаждении на носителях. Лантан - сульфатная схема.
31. Возможные варианты разделения урана и плутония, основанные на соосаждении на носителях. Лантан - фторидная схема.
32. Возможные варианты разделения урана и плутония, основанные на соосаждении на носителях. Фторидно - ацетатная схема.
33. Общая характеристика используемых в промышленности экстрагентов и разбавителей. Выбор экстрагента и схемы переработки ядерного топлива.
34. Подготовительные операции(перед экстракцией): корректировка растворов, отгонка йода и рутения, сорбционное извлечение циркония, ниобия и рутения.
35. Схема экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления с помощью гексона.
36. Схема экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления с помощью бутекса.
37. Восстановители, применяемые при реэкстракции плутония. Способы стабилизации состояний - железо(II) и уран(IV) в азотнокислых растворах.
38. Схема экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления с помощью три-н.-бутилфосфата.(слабокислотная)
39. Схема экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления с помощью три-н.-бутилфосфата.(сильнокислотная)
40. Схема экстракционного разделения урана и плутония с очисткой от продуктов деления с помощью три-н.-бутилфосфата.(ВВЭР)
41. Стабилизация состояний плутония и нептуния в степенях окисления, равных (VI) и (V).

42. Основные принципы разделения нептуния и урана при использовании метода жидкостной экстракции.
43. Основные принципы разделения нептуния и плутония при использовании метода жидкостной экстракции.
44. Экстракционное выделение нептуния, плутония и урана из растворов отработанного ядерного топлива ТБФ (общие принципы).
45. Радиолиз органических растворителей и экстрагентов. Регенерация.
46. Применение углеводородных растворителей в качестве разбавителей для экстракционных систем. Особенности, недостатки и преимущества схем при использовании вышеуказанных разбавителей.
47. Применение четыреххлористого углерода в качестве разбавителя для экстракционных систем. Особенности, недостатки и преимущества схем при использовании вышеуказанного разбавителя.
48. Экстракционная переработка растворов, получаемых после растворения сплавов и композиций урана с цирконием и нержавеющей сталью.
49. Концентрирование плутония и нептуния при использовании третичных аминов в качестве экстрагентов. Реэкстракция плутония и нептуния из органической фазы.
50. Схемы извлечения урана из облученного тория три-н.-бутилфосфатом.
51. Экстракционное разделение урана, тория и протактиния. Способы извлечения протактиния-233 из растворов.
52. Круг задач, решаемых с помощью метода ионного обмена в технологии обработанного ядерного топлива. Процессы радиолиза ионообменных материалов.
53. Разделение урана, плутония и нептуния с использованием анионитов. Стабилизация степеней окисления плутония и нептуния в ионообменной технологии.
54. Концентрирование плутония ионным обменом (на катионитах)
55. Концентрирование плутония ионным обменом (на анионитах).
56. Концентрирование плутония противоточной экстракцией.
57. Состояние урана, плутония, нептуния и продуктов деления в азотнокислых растворах, содержащих пероксид водорода, оксалат- и фторид-ионы.
58. Осадительный аффинаж плутония. Осаждение плутония в форме оксалатов.
59. Осадительный аффинаж плутония. Осаждение плутония в форме пероксида.
60. Осадительный аффинаж плутония. Осаждение плутония в форме фторидов. Восстановление плутония до металла.
61. Газофторидный способ регенерации отработанного ядерного топлива. Физико-химические свойства фторидов урана, плутония, продуктов деления и коррозии.
62. Газофторидный способ регенерации отработанного ядерного топлива. Разделение гексафторидов урана и плутония.
63. Классификация радиоактивных отходов. Источники отходов. Концентрирование отходов.
64. Способы извлечения из радиоактивных отходов технеция, циркония, ниобия, редкоземельных элементов, стронция, цезия.
65. Способы извлечения из радиоактивных отходов трансплутониевых элементов (ТПЭ).
66. Групповое разделение ТПЭ и редкоземельных элементов (РЗЭ) из радиохимических отходов. Разделение ТПЭ и РЗЭ методами жидкостной экстракции.
67. Групповое разделение ТПЭ и редкоземельных элементов (РЗЭ) из радиохимических отходов. Разделение ТПЭ и РЗЭ методами ионного обмена.
68. Высаливающее действие азотной кислоты на экстракцию нитратов уранила и тория растворами три-н.-бутилфосфата в керосине.
69. Высаливающее действие нитратов аммония и алюминия(III) на экстракцию нитратов уранила и тория растворами три-н.-бутилфосфата в керосине.
70. Влияние соотношения фаз на экстракцию нитрата уранила растворами три-н.-бутилфосфата в керосине. Экстракционная очистка урана (VI) от продуктов деления.

71.Ионообменное извлечение урана из растворов облученного тория.

72.Ионообменное извлечение свободного от носителя изотопа ^{234}Th (UX_1) из растворов солей уранила(VI).

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена, студент получает три вопроса из перечня, приведенного выше.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 60 мин.

4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПб

СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов

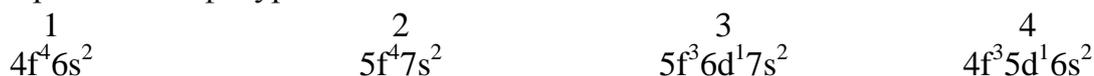
Тесты для проведения текущего контроля.

Вариант 1.

- | | | | |
|---|----------------------------|--|--------------------------------|
| 1. Электронная конфигурация Th | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| $4f^26s^2$ | $5f^27s^2$ | $5d^26s^2$ | $6d^27s^2$ |
| 2. В кислых водных растворах уран наиболее устойчив в виде следующих ионов: | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| U^{3+} | U^{4+} | UO_2^+ | UO_2^{2+} |
| 3. Делящимися материалами являются: | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| ^{232}U | ^{233}U | ^{234}U | ^{235}U |
| 4. В качестве ядерного топлива для энергетических реакторов как правило используют: | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| $U_{мет.}$ | UO_2 | U_3O_8 | UO_3 |
| 5. Материалы для оболочек ТВЭЛов должны отвечать следующим требованиям: | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Возможно меньшее сечение захвата | Низкая теплопроводность | Стойкость по отношению к теплоносителю | Хорошие механические свойства |
| 6. Продуктами деления являются элементы с массовыми числами от: | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1-31 | 32-72 | 72-161 | 161-232 |
| 7. Время выдержки облученного топлива зависит от: | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Вида облученного материала | Удельной мощности реактора | Длительности облучения | Метода последующей переработки |
| 8. Для растворения оболочек из алюминия и его сплавов используют: | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| H_2SO_4 | HNO_3 | Na_2CO_3 | $NaOH$ |
| 9. Для совместного растворения оболочки из нержавеющей стали и топлива используют: | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| H_2SO_4 | “царскую водку” | $NH_4F+NH_4NO_3$ | $HF+HNO_3$ |
| 10. Висмут-фосфатный метод включает в себя соосаждение плутония с | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Фосфатом висмута | Фосфатом лантана | Фторидом висмута | Фторидом лантана |
| 11. В качестве разбавителей используют: | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Декан | додекан | керосин | CCl_4 |
| 12. Для восстановления плутония используют | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| $Fe(II)$ | $Ca(II)$ | $U(IV)$ | $Zr(IV)$ |

Вариант 2.

1. Электронная конфигурация U



2. В кислых водных растворах нептуний наиболее устойчив в виде следующих ионов:



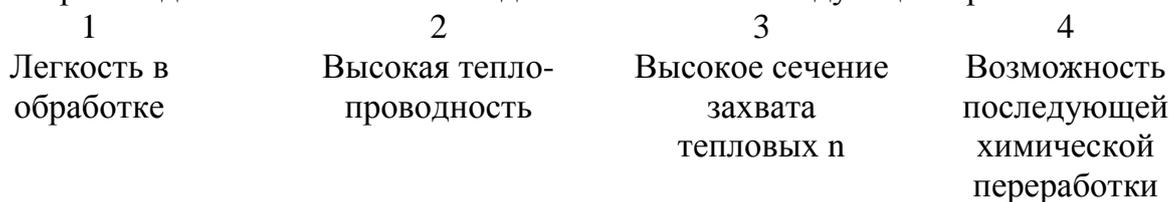
3. Делящимися материалами являются:



4. В качестве ядерного топлива для энергетических реакторов как правило используют:



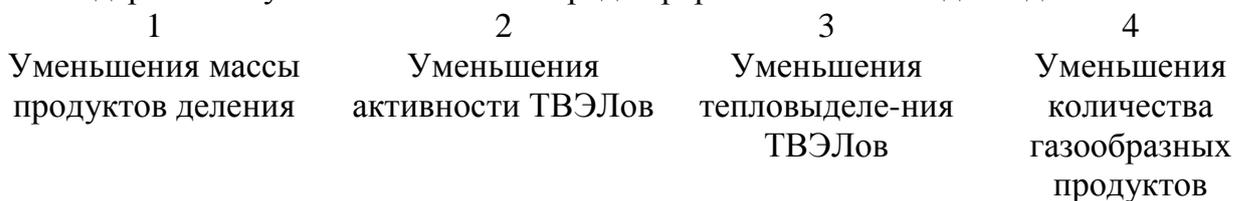
5. Материалы для оболочек ТВЭЛов должны отвечать следующим требованиям:



6. Продуктами деления являются элементы с зарядом ядра от:



7. Выдержка облученных ТВЭЛов перед переработкой необходима для



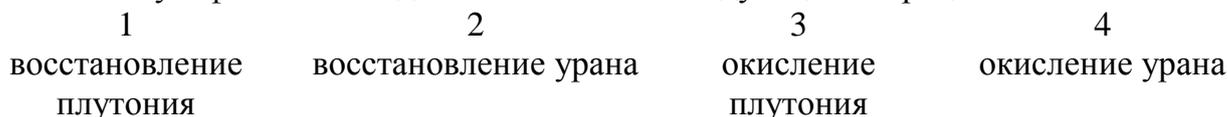
8. Для растворения оболочек из магния и его сплавов используют:



9. Для растворения топлива на основе уран-циркониевых сплавов используют:



10. Лантан-сульфатный метод включает в себя следующие операции



11. При экстракции бутексом используют



12. При экстракционном отделении от урана плутоний восстанавливают до



Вариант 3.

1. Электронная конфигурация Pu



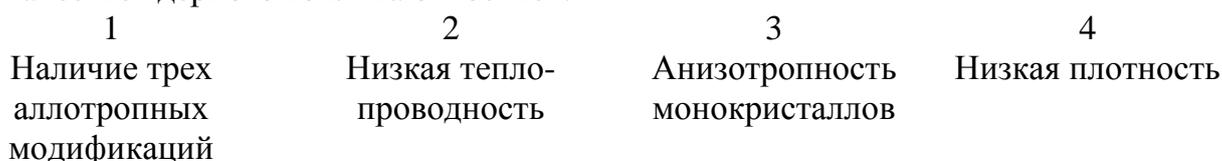
2. В кислых водных растворах торий наиболее устойчив в виде следующих ионов:



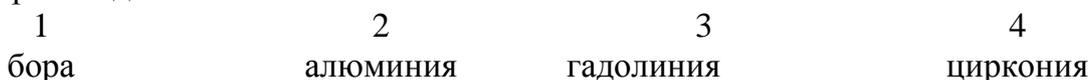
3. Делящимися материалами являются:



4. К существенным недостаткам металлического урана при его использовании в качестве ядерного топлива относится:



5. Материалы для оболочек ТВЭЛов изготавливают на основе сплавов:



6. К особо опасным продуктам деления относят:



7. Выдержка облученных ТВЭЛов перед переработкой необходима для более полного превращения



8. Для растворения оболочек из циркония и его сплавов используют:



9. Для растворения топлива на основе диоксида урана используют:



10. Лантан-фторидный метод включает в себя следующие операции:



11. При экстракции гексоном используют



12. При экстракционном отделении нептуния его переводят в



Вариант 4.

1. Электронная конфигурация Np



2. В кислых водных растворах плутоний наиболее устойчив в виде следующих ионов:

1	2	3	4
Pu^{3+}	Pu^{4+}	PuO_2^+	PuO_2^{2+}

3. Делящимися материалами являются:

1	2	3	4
^{232}Th	^{232}U	^{233}U	^{233}Th

4. К существенным недостаткам металлического урана при его использовании в качестве ядерного топлива относится:

1	2	3	4
Свелинг	Пирофорность	Наличие трех аллотропных модификаций	Низкая теплопроводность

5. Материалы для оболочек ТВЭЛов изготавливают на основе сплавов:

1	2	3	4
циркония	церия	железа	бериллия

6. К продуктам деления – «нейтронным ядам» относят:

1	2	3	4
^{135}Xe	^{222}Rn	^{149}Sm	^{247}Cm

7. Транспортирование ТВЭЛов осуществляется следующими видами транспорта:

1	2	3	4
автомобильным	авиацией	железнодорожным	водным

8. Для растворения оболочек из нержавеющей стали используют:

1	2	3	4
H_2SO_4	HNO_3	HF	NaOH

9. Для растворения топлива на основе металлического урана используют:

1	2	3	4
H_2SO_4	HNO_3	Na_2CO_3	NaOH

10. Фторид-ацетатный метод включает в себя следующие операции: осаждение

1	2	3	4
фосфата висмута	двойных сульфатов	гексафторида урана	фторида лантана

11. Для удаления рутения растворы перед экстракцией обрабатывают:

1	2	3	4
озоном	Углекислым газом	известью	пирролизитом

12. Наиболее склонен к диспропорционированию при высокой кислотности:

1	2	3	4
U(IV)	Pu(IV)	Np(V)	Am(III)

Примеры индивидуальных расчетных заданий по разделам дисциплины

Практические занятия предусматривают выдачу студентам индивидуальных расчетных заданий для самостоятельной проработки с обязательной отчетностью. Тематика индивидуальных заданий подобрана таким образом, чтобы студент полнее усвоил и закрепил знания основных процессов технологии отработанного ядерного топлива (тория, урана и плутония).

Индивидуальное задание включает следующие основные разделы:

- а) расчет состава отработанного топлива на основании данных, характеризующих исходное ядерное топливо, степень выгорания, коэффициент конверсии и время охлаждения;
- б) определение изменений, произошедших в изотопном составе урана, количества образовавшихся нуклидов плутония, нептуния и отдельных относительно долгоживущих радионуклидов: ^{85}Kr , ^{89}Sr , $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$, $^{95}\text{Zr} \rightarrow ^{95}\text{Nb}$, $^{93}\text{Zr} \rightarrow ^{93}\text{Nb}$, ^{89}Tc , $^{106}\text{Ru} \rightarrow ^{106}\text{Rh}$, ^{103}Ru , ^{129}I , ^{141}Ce , $^{144}\text{Ce} \rightarrow ^{144}\text{Pr}$, $^{147}\text{Nd} \rightarrow ^{147}\text{Pm}$, ^{151}Sm , ^{155}Eu , их активность “в момент выгрузки” и после охлаждения. Если облучается торий, то определяется количество образовавшегося ^{233}Pa и ^{233}U ;
- в) снятие оболочек с ТВЭЛов с применением физических, пирохимических или химических методов;
- г) растворение отработанного ядерного топлива (урана, плутония, нептуния, тория, протактиния и всех радионуклидов);
- д) разделение урана, плутония, нептуния и продуктов деления с использованием экстракционных и ионообменных процессов. Использование экстракционных, сорбционных и ионообменных методов в процессах переработки растворов облученного тория с целью выделения из них очищенных тория, урана и протактиния- 233 ;
- е) аффинаж плутония и урана.

В отдельных заданиях вместо пунктов "в", "г" и "д" для переработки отработанного ядерного топлива может быть предложена фторидная технология в "чистом" виде или комбинированная - в сочетании с водными методами переработки отработанного топлива.

Согласно индивидуальному заданию, студент оформляет пояснительную записку, в которой дает краткий аналитический обзор современных методов переработки данного по заданию вида отработанного ядерного топлива, после чего обосновывает выбранную схему, дает ее описание, включая химические реакции, протекающих процессов на каждой отдельной операции. Раздел “а” индивидуального задания выполняется с использованием ЭВМ.

Примеры индивидуальных расчетных заданий:

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/дм³, нептуния - 2.10⁻² мг/дм³.

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 выгорания - 29000 МВт.сут/т.