

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 15.11.2023 13:37:37  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



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  
«31» мая 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ**  
(Начало подготовки – 2021 год)

Специальность  
**18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики**

Специализация:  
**№ 07 Химическая технология редких и редкоземельных металлов**

Квалификация

**Инженер**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **инженерно-технологический**

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

Санкт-Петербург

2021

Б1.В.07.03

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

Рабочая программа дисциплины «Технология переработки ОЯТ» обсуждена на заседании кафедры технологии редких элементов и наноматериалов на их основе  
протокол от «10» марта 2021 г. № 5  
Заведующий кафедрой

А.А. Блохин

Одобрено учебно-методической комиссией инженерно-технологического факультета  
протокол от «27» мая 2021 № 8

Председатель

А.П. Сула

### СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химическая технология материалов современной энергетики»		профессор И.В. Юдин
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник УМУ		С.Н.Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	04
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы .....	06
3. Объем дисциплины .....	06
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....	07
4.2. Занятия лекционного типа .....	08
4.3. Занятия семинарского типа .....	12
4.4. Самостоятельная работа .....	14
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	15
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	15
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	16
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	17
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	17
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии .....	18
10.2. Программное обеспечение .....	18
10.3. Базы данных и информационные справочные системы .....	18
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	18
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	18
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации... 19	
Приложение 2. Тесты для проведения текущего контроля .....	26
Приложение 3. Примеры индивидуальных расчетных заданий по разделам дисциплины .....	30

### 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>Код и наименование компетенции</i>	Код и наименование индикатора достижения компетенции 1	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>2</sup>
<b>ПК-7</b> Способен анализировать технологический процесс, выявлять его недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию	<b>ПК-7.1</b> Способен к разработке технологических процессов производства основных материалов ЯТЦ, в том числе с использованием радиоактивных веществ	<b>Знать:</b> – - - 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 операции с ураном, плутонием и нептунием <b>Уметь:</b> – проводить исследования с применением радиоактивных нуклидов по очистке урана и плутония ионообменными, экстракционными и осадительными методами; выбирать конструкционные материалы и оборудование для обеспечения оптимальных условий проведения процессов <b>Владеть:</b> - 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

<sup>1</sup> Содержание и номер компетенции в точности соответствует ФГОС ВО и отображается в матрице компетенций для конкретной дисциплины

<sup>2</sup> Код индикатора присваивается руководителем направления подготовки, отображается в матрице компетенции и доводится разработчикам РПД. Повторение кодов индикаторов для конкретной компетенции, реализуемой разными дисциплинами, не допускается

<sup>2</sup> Дескрипторы переносятся из матрицы компетенций без смены формулировок

<i>Код и наименование компетенции</i>	Код и наименование индикатора достижения компетенции 1	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>2</sup>
<p><b>ПК-7</b> Способен анализировать технологический процесс, выявлять его недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию</p>	<p><b>ПК-7.2</b> Способен принимать конкретное техническое решение с учетом охраны труда, радиационной безопасности и охраны окружающей среды</p>	<p><b>Знать:</b> - 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> <p><b>Уметь:</b> - на основе имеющихся исходных данных правильно организовывать технологический процесс, обеспечивающий получение ценных компонентов, отвечающий требованиям ТУ и ГОСТов</p> <p><b>Владеть:</b> - 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>

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Технология переработки ОЯТ» (Б1.В.07.03) относится к дисциплинам специализации и изучается на 5 курсе в 9-ом и 10 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	10-ой
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	9/324	4/144	5/180
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>140</b>	<b>50</b>	<b>90</b>
занятия лекционного типа	32	32	-
занятия семинарского типа, в т.ч.	18	<b>18</b>	-
семинары, практические занятия	18	18	-
лабораторные работы (в т.ч. практическая подготовка)	90 (27)	-	90 (27)
курсовое проектирование (КР или КП)	-	-	-
КСР	-	-	-
другие виды контактной работы (КОНТРОЛЬ)	<b>36</b>	36	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>148</b>	<b>58</b>	<b>90</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	тесты	тесты	-
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	Экзамен (36), зачет	Экзамен (36)	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	Лабораторные работы		
<b>Семестр 9</b>						
1	Введение.	2			10	
2	Характеристика ядерного топлива	2	6		10	ПК-7; ПК-7.1; 7.2
3	Растворение ядерного топлива	4				ПК-7; ПК-7.1; 7.2
4	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония	2			10	ПК-7; ПК-7.1; 7.2
5	Переработка ядерного топлива методом жидкостной экстракции	12	4		10	ПК-7; ПК-7.1; 7.2
6	Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива	4	4		10	ПК-7; ПК-7.1; 7.2
7	Аффинаж плутония	2				ПК-7; ПК-7.1; 7.2
8	Неводные методы переработки ядерного топлива	4	4		8	ПК-7; ПК-7.1; 7.2
	Экзамен					
	<b>ИТОГО:</b>	<b>32</b>	<b>18</b>		<b>58</b>	
<b>Семестр 10</b>						
4	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония			30	25	ПК-7; ПК-7.1; 7.2
5	Переработка ядерного топлива методом жидкостной экстракции			30	25	ПК-7; ПК-7.1; 7.2
6	Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива			30	25	ПК-7; ПК-7.1; 7.2
7	Аффинаж плутония				15	ПК-7; ПК-7.1; 7.2
	<b>ИТОГО:</b>			<b>90</b>	<b>90</b>	

#### 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	ЛВ
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>	2	ЛВ



№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3	<p>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 (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 аппаратного 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.</p>	4	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	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.		
4	<u>Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония.</u> 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. Поведение урана, плутония и продуктов деления на отдельных стадиях процесса. Особенности этих схем, их преимущества и недостатки. Разделение плутония и нептуния на носителях.	2	ЛВ
5	<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. Радиолитические растворители и экстрагенты. Регенерация бутекса, гексона и три-н.-бутилфосфата. Применение углеводородных растворителей и четыреххлористого углерода в качестве разбавителей для экстракционных систем.	12	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>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>		
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 радиолитического ионного обмена в технологии обработанного ядерного топлива. Процессы радиолитического ионного обмена 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	ЛВ
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>	2	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
8	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 пиро процессов, их достоинства и недостатки.	4	ЛВ
	<b>ИТОГО</b>	<b>32</b>	

### 4.3 Занятия семинарского типа

#### 4.3.1 Семинары, практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	Ядерный топливный цикл, основные стадии и варианты его реализации	2	ЗК
2	Химические и физико-химические свойства актиноидов	2	ЗК
2	Критические параметры цепной реакции при участии $^{235}\text{U}$ , $^{233}\text{U}$ и $^{239}\text{Pu}$ . 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	ЗК
5	Физико-химические основы экстракции актиноидов. Экстрагенты и разбавители.	2	ЗК
5	Аппаратурное оформление процесса экстракции. Критерии выбора.	2	ЗК
7	Получение оксидов из регенерированного ядерного топлива	2	ЗК
6	Получение $^{238}\text{Pu}$ и его применение	2	ЗК
6	Выделение америция и кюрия	2	ЗК
7	Обезвреживание газообразных радиоактивных отходов	2	ЗК
	<b>ИТОГО</b>	<b>18</b>	

### 4.3.2. Лабораторные занятия.

№	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Объем, академ. час	
			Трудо- емкость (час)	В том числе на прак. подгот., (час)
1	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки неп-туния и плутония (№ 4)	Лантан - сульфатная схема извлечения плутония из растворов урана	30	9
2	Переработка ядерного топлива методом жидкостной экстракции (№5)	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(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	30	9
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 $^{234}\text{Th}$ (UX <sub>1</sub> ) из растворов солей уранила(VI).	30	9
<b>ИТОГО</b>			<b>90</b>	<b>27</b>

#### 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. Актиноидная и уранидная теории. (семестр 9)	4	Устный опрос №1
1	Окислительно-восстановительные свойства и потенциалы. Сравнение скорости и механизма окислительно-восстановительных реакций урана, нептуния и плутония (семестр 9)	4	Устный опрос №2
1	Гидролиз и комплексообразование актиноидов (семестр 9)	2	Устный опрос №3
2	Основы производства ядерной энергии. Ядерные реактора, основные типы ядерных энергетических установок (ЯЭУ) (семестр 9)	5	Устный опрос №4
2	Характеристика основных продуктов деления, их классификация. Зависимость выхода от типа реактора и глубины выгорания. (семестр 9)	5	Устный опрос №5
4	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония (семестр 9)	16	Устный опрос №6
4	Применение метода соосаждения на носителе для концентрирования и очистки нептуния и плутония (семестр А)	16	Устный опрос №7
5	Особенности переработки топлива реакторов на быстрых нейтронах; транспортировка, хранение, резка и растворение сборок, переработка и ядерная безопасность (семестр 9)	16	Устный опрос №8
5	Переработка облученного топлива уран-ториевых реакторов (семестр А)	24	Устный опрос №9
6	Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива (семестр 9)	16	Устный опрос №10
6	Ионообменные методы в технологии отработанного ядерного топлива (семестр А)	24	Устный опрос №11
7	<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. (семестр А)	8	Устный опрос №12

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
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. (семестр 9)	8	Устный опрос №13
	<b>ИТОГО</b>	<b>148</b>	

*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.

Сдача зачета проводится в форме собеседования по результатам выполнения лабораторных работ, оформленных в виде отчетов по каждой работе.

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.Классификация радиоактивных отходов. Источники отходов. Концентрирование отходов

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 учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

### а) печатные издания:

1. Мурашкин, Ю.В. Экстракционные процессы переработки отработавшего ядерного топлива: практикум/ Ю.В. Мурашкин, В.А. Кескинов, А.А. Блохин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2021. – 69 с.
2. Пяртман, А. К. Определение изотерм экстракции нитрата уранила (VI) при использовании полимерных композиционных материалов с три-н.-бутилфосфатом: методические указания / А. К. Пяртман ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. - 22 с.
3. Краткая энциклопедия урана / А. Акатов, Ю. Коряковский. - СПб. : Фонд развития модульного обучения "Петерфонд", 2013. -113 с.
4. Мурашкин, Ю.В. Расчет материальных балансов и оборудования для выщелачивания руд и концентратов. Учебное пособие / Ю.В. Мурашкин, А.А. Блохин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2013. 51 с
5. Копырин, А.А. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива. / А.А. Копырин, А.И. Карелин, В.А. Карелин; -Москва: Атомэнергоиздат., 2006. 576 с. ISBN 5 – 98532-004-9.
6. Блохин, А. А. Кинетика ионного обмена : Методические указания / А. А. Блохин, Ю. В. Мурашкин, А. А. Копырин ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт



(технический университет), кафедра технологии редких и рассеянных элементов. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2009. - 21 с.

7. 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; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014.-68 с.

**б) электронные издания:**

1. Общая химическая технология. Основные концепции проектирования ХТС / И.М. Кузнецова, Х.Э. Харлампиди, В.Г. Иванов, Э.В. Чиркунов. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 384 с. ISBN 978-5-8114-1479-6 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <http://e.lanbook.com/book/45973> (дата обращения: 10.12.2020 г.) Режим доступа: по подписке.
2. Смирнов, Н.Н., Альбом типовой химической аппаратуры (принципиальные схемы аппаратов). / Н.Н. Смирнов, В.М. Барабаш, К.А. Карпов.— Санкт-Петербург: Лань, 2019. — 84 с. ISBN 978-5-8114-2485-6 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <http://e.lanbook.com/book/91283>. (дата обращения: 10.12.2020 г.) Режим доступа: по подписке.

**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/>.

**9 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

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

СТО СПбГТИ 020-2011. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лабораторные занятия. Общие требования к организации и проведению.

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 ЭИОС.

### **10.2 Программное обеспечение**

Microsoft Office (Microsoft Excel);

### **10.3 Базы данных и 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, выполнения курсовых работ используется учебная аудитория, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории, на 25 посадочных мест.

Лаборатории, укомплектованные специализированной мебелью, оснащены лабораторным оборудованием: фотоколориметры, весы технические и аналитические, рН-метры, бюретки для титрование, сорбционные колонки. бюретки для титрование, пипетки, лабораторная посуда.

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 учебные 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 «Технология переработки ОЯТ»**

**1 Перечень компетенций и этапов их формирования**

<b>Компетенции</b>		
<b>Индекс</b>	<b>Формулировка</b>	<b>Этап формирования</b>
ПК-7	Способен анализировать технологический процесс, выявлять его недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию	промежуточный

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

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-7.1</b> Способен к разработке технологических процессов производства основных материалов ЯТЦ, в том числе с использованием радиоактивных веществ	Знает 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;	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 1,2,21-24,27,28,40-44,46-48,61,63	Демонстрирует знание химии урана, нептуния, плутония и их соединений, но не может самостоятельно построить технологическую схему процесса и выбрать оборудование	Показывает глубокое понимание химии урана, нептуния, плутония и их соединений, способен с наводящими вопросами построить технологическую схему, но плохо представляет принципы выбора основного и вспомогательного оборудования	Способен самостоятельно построить технологическую схему процесса, знает принципы выбора основного и вспомогательного оборудования, свободно владеет химией урана, нептуния, плутония и их соединений
	Умеет проводить исследования с применением радиоактивных нуклидов по очистке урана и плутония ионообменными, экстракционными и осадительными методами; выбирать конструкционные материалы и оборудование для обеспечения оптимальных условий проведения процессов	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 3-15,25,26,31-36,45,55-72	Способен самостоятельно предложить метод исследования с применением радиоактивных нуклидов по очистке урана и плутония, но не может выбрать конструкционные материалы и оборудование для обеспечения	Способен самостоятельно предложить метод исследования с применением радиоактивных нуклидов по очистке урана и плутония, выбрать при наличии наводящих вопросов конструкционные материалы и оборудование для	Способен самостоятельно предложить метод исследования с применением радиоактивных нуклидов по очистке урана и плутония, выбрать конструкционные материалы и оборудование для обеспечения

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
			оптимальных условий проведения процессов	обеспечения оптимальных условий проведения процессов	оптимальных условий проведения процессов
	Владеет 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	Правильные ответы на вопросы к экзамену №16-24,29-31,37-44,49-54	Показывает определенное знание теоретических основ гидрометаллургии, однако затрудняется с их практическим использованием для технологии урана, плутония, нептуния	Демонстрирует освоение теоретических основ гидрометаллургии, однако затрудняется с обоснованием и выбором оптимальных условий отдельных процессов, используемых в технологии урана, плутония, нептуния	Способен теоретически обосновать оптимальные способы проведения всех технологических процессов, используемых в технологии урана, плутония, нептуния
<b>ПК-7.2</b> Способен принимать конкретное техническое решение с учетом охраны труда, радиационной безопасности и охраны окружающей среды	Знает 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	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 1,2,21-24,27,28,40-44,46-48,61,63	Разбирается в устройстве основного оборудования; плохо представляет режимы и расходные показатели по сырью, материалам и энергии.	Хорошо разбирается в устройстве и режиме работы основного оборудования; но слабо владеет численными показателями процессов	Хорошо разбирается в устройстве и режиме работы основного оборудования; ясно представляет расходные показатели по сырью, материалам и энергии.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	трансплутониевых элементов и продуктов деления				
	<p>Умеет на основе имеющихся исходных данных правильно организовывать технологический процесс, обеспечивающий получение ценных компонентов, отвечающий требованиям ТУ и ГОСТов</p> <p>Владеет 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>Правильные ответы на вопросы к экзамену № 3-15,25,26,31-36,45,55-72</p> <p>Правильные ответы на вопросы к экзамену №16-24,29-31,37-44,49-54</p>	<p>Разбирается в технике проведения расчетов норм расходования сырья, материалов и энергетических затрат не в полном объеме, имеет проблемы в реализации своих знаний для практического использования</p> <p>Демонстрирует понимание теоретических основ гидрометаллургии, однако затрудняется с их практическим использованием для изучаемых в курсе процессов</p>	<p>Хорошо разбирается в технике проведения расчетов, имеет проблемы при обработке результатов для оптимизации технологических процессов</p> <p>Показывает знание теоретических основ гидрометаллургии, однако затрудняется с обоснованием и выбором оптимальных условий отдельных процессов</p>	<p>Хорошо разбирается в технике проведения расчетов норм расходования сырья, материалов и энергетических затрат, умеет обрабатывать результаты для оптимизации технологических процессов</p> <p>Способен теоретически обосновать оптимальные способы проведения всех технологических процессов, изучаемых в курсе</p>

### 3 Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

#### а) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-7:

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 (циркаллой) 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. Радиолитические растворители и экстрагенты. 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 радиолитического 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  $^{234}\text{Th}$  (UX<sub>1</sub>) из растворов солей уранила(VI).

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена и зачёта. Сдача зачёта проводится в форме собеседования по результатам выполнения лабораторных работ, оформленных в виде отчетов по каждой работе.

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 Положения о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся (Приказ ректора от 12.12.2014 № 463) и СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена или зачёта в форме собеседования по результатам выполнения лабораторных работ, оформленных в виде отчетов по каждой работе.

Шкала оценивания на экзамене балльная («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»), на зачёте – «зачёт», «незачёт». При этом «зачёт» соотносится с пороговым уровнем сформированности компетенции.

**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
 

1	2	3	4
$4f^46s^2$	$5f^47s^2$	$5f^36d^17s^2$	$4f^35d^16s^2$
2. В кислых водных растворах нептуний наиболее устойчив в виде следующих ионов:

	1	2	3	4
	$\text{Np}^{3+}$	$\text{Np}^{4+}$	$\text{NpO}_2^+$	$\text{NpO}_2^{2+}$
3. Делящимися материалами являются:				
	1	2	3	4
	$^{238}\text{Pu}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{240}\text{Pu}$	$^{241}\text{Pu}$
4. В качестве ядерного топлива для энергетических реакторов как правило используют:				
	1	2	3	4
	$\text{ThO}_2$	$\text{UO}_2$	$\text{PuO}_2$	$\text{NpO}_2$
5. Материалы для оболочек ТВЭЛов должны отвечать следующим требованиям:				
	1	2	3	4
Легкость в обработке		Высокая теплопроводность	Высокое сечение захвата тепловых n	Возможность последующей химической переработки
6. Продуктами деления являются элементы с зарядом ядра от:				
	1	2	3	4
	1-29	30-66	66-80	81-105
7. Выдержка облученных ТВЭЛов перед переработкой необходима для				
	1	2	3	4
Уменьшения массы продуктов деления		Уменьшения активности ТВЭЛов	Уменьшения тепловыделения ТВЭЛов	Уменьшения количества газообразных продуктов
8. Для растворения оболочек из магния и его сплавов используют:				
	1	2	3	4
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{HNO}_3$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaOH}$
9. Для растворения топлива на основе уран-циркониевых сплавов используют:				
	1	2	3	4
	$\text{H}_2\text{SO}_4+\text{HCl}$	$\text{HF}+\text{HNO}_3$	$\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{NaOH}$	$\text{NH}_4\text{F}+\text{NH}_4\text{NO}_3$
10. Лантан-сульфатный метод включает в себя следующие операции				
	1	2	3	4
восстановление плутония		восстановление урана	окисление плутония	окисление урана
11. При экстракции бутексом используют				
	1	2	3	4
Азотную кислоту 0.5 М		Азотную кислоту 3М	Азотную кислоту 6М	Нитрат алюминия
12. При экстракционном отделении от урана плутоний восстанавливают до				
	1	2	3	4
$\text{Pu(V)}$		$\text{Pu(IV)}$	$\text{Pu(III)}$	металла

Вариант 3.

1. Электронная конфигурация Pu				
	1	2	3	4
	$4f^66s^2$	$5f^67s^2$	$4f^55d^16s^2$	$5f^56d^17s^2$
2. В кислых водных растворах торий наиболее устойчив в виде следующих ионов:				
	1	2	3	4
$\text{Th}^{3+}$		$\text{Th}^{4+}$	$\text{ThO}_2^+$	$\text{ThO}_2^{2+}$
3. Делящимися материалами являются:				
	1	2	3	4
$^{237}\text{U}$		$^{238}\text{U}$	$^{238}\text{Pu}$	$^{239}\text{Pu}$

4. К существенным недостаткам металлического урана при его использовании в качестве ядерного топлива относится:
- |                                      |                         |                               |                  |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|
| 1                                    | 2                       | 3                             | 4                |
| Наличие трех аллотропных модификаций | Низкая теплопроводность | Анизотропность монокристаллов | Низкая плотность |
5. Материалы для оболочек ТВЭЛов изготавливают на основе сплавов:
- |      |          |           |          |
|------|----------|-----------|----------|
| 1    | 2        | 3         | 4        |
| бора | алюминия | гадолиния | циркония |
6. К особо опасным продуктам деления относят:
- |                  |                  |                   |                   |
|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1                | 2                | 3                 | 4                 |
| $^{40}\text{Ca}$ | $^{90}\text{Sr}$ | $^{137}\text{Cs}$ | $^{207}\text{Pb}$ |
7. Выдержка облученных ТВЭЛов перед переработкой необходима для более полного превращения
- |                                      |                                      |                                       |                                       |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1                                    | 2                                    | 3                                     | 4                                     |
| $^{237}\text{U}$ в $^{237}\text{Np}$ | $^{235}\text{U}$ в $^{238}\text{Pu}$ | $^{239}\text{Np}$ в $^{239}\text{Pu}$ | $^{207}\text{Pb}$ в $^{197}\text{Au}$ |
8. Для растворения оболочек из циркония и его сплавов используют:
- |                         |                |             |               |
|-------------------------|----------------|-------------|---------------|
| 1                       | 2              | 3           | 4             |
| $\text{H}_2\text{SO}_4$ | $\text{HNO}_3$ | $\text{HF}$ | $\text{NaOH}$ |
9. Для растворения топлива на основе диоксида урана используют:
- |                         |                |                          |               |
|-------------------------|----------------|--------------------------|---------------|
| 1                       | 2              | 3                        | 4             |
| $\text{H}_2\text{SO}_4$ | $\text{HNO}_3$ | $\text{Na}_2\text{CO}_3$ | $\text{NaOH}$ |
10. Лантан-фторидный метод включает в себя следующие операции:
- |                         |                      |                    |                 |
|-------------------------|----------------------|--------------------|-----------------|
| 1                       | 2                    | 3                  | 4               |
| восстановление плутония | восстановление урана | окисление плутония | окисление урана |
11. При экстракции гексоном используют
- |                       |                    |                    |                 |
|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| 1                     | 2                  | 3                  | 4               |
| Азотную кислоту 0.5 М | Азотную кислоту 2М | Азотную кислоту 6М | Нитрат алюминия |
12. При экстракционном отделении нептуния его переводят в
- |                  |                 |                |                 |
|------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 1                | 2               | 3              | 4               |
| $\text{Np(III)}$ | $\text{Np(IV)}$ | $\text{Np(V)}$ | $\text{Np(VI)}$ |

Вариант 4.

1. Электронная конфигурация Np
- |                  |             |                  |             |
|------------------|-------------|------------------|-------------|
| 1                | 2           | 3                | 4           |
| $5f^4 6d^1 7s^2$ | $5f^5 7s^2$ | $4f^4 5d^1 6s^2$ | $4f^5 6s^2$ |
2. В кислых водных растворах плутоний наиболее устойчив в виде следующих ионов:
- |                  |                  |                  |                     |
|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| 1                | 2                | 3                | 4                   |
| $\text{Pu}^{3+}$ | $\text{Pu}^{4+}$ | $\text{PuO}_2^+$ | $\text{PuO}_2^{2+}$ |
3. Делящимися материалами являются:
- |                   |                  |                  |                   |
|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 1                 | 2                | 3                | 4                 |
| $^{232}\text{Th}$ | $^{232}\text{U}$ | $^{233}\text{U}$ | $^{233}\text{Th}$ |
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                 |
| $^{135}\text{Xe}$ | $^{222}\text{Rn}$ | $^{149}\text{Sm}$ | $^{247}\text{Cm}$ |
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             |
| $\text{H}_2\text{SO}_4$ | $\text{HNO}_3$ | $\text{HF}$ | $\text{NaOH}$ |
9. Для растворения топлива на основе металлического урана используют:
- |                         |                |                          |               |
|-------------------------|----------------|--------------------------|---------------|
| 1                       | 2              | 3                        | 4             |
| $\text{H}_2\text{SO}_4$ | $\text{HNO}_3$ | $\text{Na}_2\text{CO}_3$ | $\text{NaOH}$ |
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 | пиролюзитом |
12. Наиболее склонен к диспропорционированию при высокой кислотности:
- |                |                 |                |                  |
|----------------|-----------------|----------------|------------------|
| 1              | 2               | 3              | 4                |
| $\text{U(IV)}$ | $\text{Pu(IV)}$ | $\text{Np(V)}$ | $\text{Am(III)}$ |

### 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:  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$ ,  $^{95}\text{Zr} \rightarrow ^{95}\text{Nb}$ ,  $^{93}\text{Zr} \rightarrow ^{93}\text{Nb}$ ,  $^{89}\text{Tc}$ ,  $^{106}\text{Ru} \rightarrow ^{106}\text{Rh}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce} \rightarrow ^{144}\text{Pr}$ ,  $^{147}\text{Nd} \rightarrow ^{147}\text{Pm}$ ,  $^{151}\text{Sm}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ , их активность “в момент выгрузки” и после охлаждения. Если облучается торий, то определяется количество образовавшегося  $^{233}\text{Pa}$  и  $^{233}\text{U}$ ;
- 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/дм<sup>3</sup>, нептуния - 2.10<sup>-2</sup> мг/дм<sup>3</sup>.

### **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.