

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Шевчик Андрей Павлович  
Должность: Врио ректора  
Дата подписания: 23.06.2021 14:49:49  
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  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ИОНООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕХНОЛОГИИ РЕДКИХ И**  
**РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**  
(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.27.01

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчик должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
зав. кафедрой ТРЭНМ		профессор А.А. Блохин

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	5
3. Объем дисциплины .....	5
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	6
4.2. Занятия лекционного типа.....	6
4.3. Занятия семинарского типа.....	10
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	10
4.3.2. Лабораторные занятия.....	12
4.4. Самостоятельная работа.....	12
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	13
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	13
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины .....	14
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	15
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	15
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии.....	16
10.2. Программное обеспечение.....	16
10.3. Информационные справочные системы.....	16
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	16
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	16
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	17

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

Для получения планируемых результатов освоения образовательной программы специалитета обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине: ОПК-2, ПК-1, ПСК- 1.1.

<i>Коды компетенции</i>	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
<b>ПК- 1</b>	способностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции	<p><b>Знать:</b> современные методики проведения экспериментальных исследований в области ионообменных процессов и способы представления результатов исследований</p> <p><b>Уметь:</b> осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции.</p> <p><b>Владеть:</b> способностью к безопасному проведению технологических процессов производства основных функциональных материалов ядерного топливного цикла с использованием ионообменной технологии</p>
<b>ПСК-1.1</b>	способностью к безопасному проведению, контролю, усовершенствованию и разработке технологических процессов производства основных функциональных материалов ядерного топливного цикла, в том числе с использованием радиоактивных материалов	<p><b>Знать:</b> современные тенденции и новые перспективные ионообменных методы переработки минерального сырья, содержащего редкие, радиоактивные, цветные и благородные металлы, отработавшего топлива, а также в процессах очистки сточных вод и сбросных растворов.</p> <p><b>Уметь:</b> выявлять перспективные малоотходные технологии получения материалов на основе редких, рассеянных и радиоактивных элементов и их соединений составлять планы и программы проведения научно-исследовательских разработок, выбору методов и средств решения новых задач</p> <p><b>Владеть:</b> основными критериями, лежащими в основе выбора ионообменной технологии в производстве редких, рассеянных и радиоактивных элементов</p>
<b>ОПК-2</b>	способностью профессионально использовать современное технологическое и аналитическое оборудование, способностью к проведению научного исследования и	<p><b>Знать:</b> теоретические основы ионообменных процессов; методы исследования ионообменных равновесий; принцип работы основного технологического оборудования ионообменной технологии</p> <p><b>Уметь:</b> применять полученные знания для разработки процессов извлечения редких благородных и редких тугоплавких металлов с</p>

Коды компетенции	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
	анализу полученных при его проведении результатов ;	использование ионообменных процессов; <b>Владеть:</b> способностью к организации и проведению исследований по ионообменному способу выделения, разделения и тонкой очистке редких, благородных и редких тугоплавких металлов

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к дисциплинам специализации (Б1.Б.27.01), и изучается на 4 и 5 курсах во 8 и 9 семестрах.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Общая и неорганическая химия», «Физическая химия», «Коллоидная химия», «Процессы и аппараты химической технологии», «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа». Полученные в процессе изучения дисциплины знания и умения могут быть использованы при изучении последующих учебных дисциплин, прохождении практик, при выполнении выпускной квалификационной работы (государственной итоговой аттестации) и в дальнейшей трудовой деятельности.

## 3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов	Семестр	
		8	9
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	8/288	3/108	5/180
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>156</b>	<b>48</b>	<b>108</b>
занятия лекционного типа	32	32	-
занятия семинарского типа, в т.ч.			
семинары, практические занятия	16	16	-
лабораторные работы	90	--	90
курсовое проектирование (КР или КП)	КР	--	КР
КСР (КР)	(18)	-	(18)
другие виды контактной работы	-	-	-
<b>Самостоятельная работа</b>	96	24	72
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	-	-	-
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	Экзамен, Зачет, КР <b>36</b>	Экзамен <b>36</b>	Зачет, КР

#### 4. Содержание дисциплины.

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1.	Введение. Основные понятия и терминология	2				ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
2.	Классификация ионообменных материалов.	4	1		8	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
3.	Общие сведения о синтезе ионообменных материалов.	2			6	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
4.	Физико-химические свойства и основные характеристики ионитов.	2	1	18	12	ПК-1 ОПК-2
5.	Механическая, термическая, химическая и радиационная стойкость ионитов, отравление ионитов.	2			6	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
6.	Равновесие ионного обмена, селективность ионитов.	2	1	24	12	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
7.	Кинетика ионного обмена.	2	2	12	8	ПК-1
8.	Динамика ионного обмена. Ионообменная хроматография	4	2	24	14	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
9.	Основные стадии ионообменных процессов. Способы реализации ионообменных процессов на практике. Аппаратурное оформление ионообменных процессов.	2	2		6	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
10.	Общие принципы, лежащие в основе выбора ионообменных процессов для решения технологических задач. Методики проведения экспериментальных технологических исследований.	2	2	12	8	ПК-1 ОПК-2
11.	Ионообменные процессы в технологии отдельных редких, цветных, благородных металлов, радиоактивных элементов, высокочистых веществ, в процессах водоподготовки, очистки сбросных растворов	6	5	-	16	ПК-1 ПСК-1.1 ОПК-2
	<b>ИТОГО</b>	32	16	90	96	

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p><b>Введение. Основные понятия и терминология</b></p> <p>Понятие ионного обмена, основная терминология. Матрицы и функциональные группы ионитов. Историческая справка. Роль ионного обмена в гидрометаллургии редких, и радиоактивных элементов, благородных и цветных металлов, процессах водоподготовки, технологии высокочистых веществ, утилизации отходов. Цель и задачи курса.</p>	2	Слайд-презентация
2	<p><b>Классификация ионообменных материалов.</b></p> <p>Неорганические иониты (глины, цеолиты, гидратированные оксиды поливалентных металлов, малорастворимые соли поливалентных металлов, ферроцианиды, соли гетерополикислот, малорастворимые сульфиды) органические иониты (сульфоугли, активированные угли, иониты на основе целлюлозы, ионообменные смолы, включая катиониты, аниониты, амфолиты, комплексообразующие иониты, электроно- и электроноинообменники, ионообменные мембраны, ионообменные ткани, комбинированные иониты–импрегнанты и твэкссы.</p>	4	Слайд-презентация
3	<p><b>Общие сведения о синтезе ионообменных материалов.</b></p> <p>Принципы синтеза конденсационных и полимеризационных ионообменных смол. Особенности синтеза гелевых макросетчатых и макропористых ионообменных смол. Методы синтеза неорганических ионитов. Способы получения комбинированные ионитов. Твэкссы и импрегнанты. Получения активированных углей и способы изменения их ионообменных свойств.</p>	2	
4	<p><b>Физико-химические свойства и основные характеристики ионитов.</b></p> <p>Явления, происходящие при контакте ионитов с водными растворами. Основные характеристики ионитов: влажность, емкость, удельный объем, влагоемкость, зернение ионитов. Взаимосвязь набухания ионитов с их емкостью, сшитостью, концентрацией и кислотностью раствора. Донановское равновесие. Кислотно-основные свойства ионитов, потенциометрическое титрование ионитов..</p>	2	Слайд-презентация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
5	<p><b>Механическая, термическая, химическая и радиационная стойкость ионитов, отравление ионитов..</b> Механическая прочность ионитов – стойкость к истиранию и осмотическая стойкость. Явление осмотического шока. Термическая стойкость органических и неорганических ионитов. Изменения в ионитах, происходящие при повышенных температурах. Химическая стойкость органических и неорганических ионитов в растворах солей, кислот, щелочей, окислителей. Радиационная стойкость ионитов. Явление отравления ионитов и способы его устранения.</p>	2	Слайд-презентация
6	<p><b>Равновесие ионного обмена, селективность ионитов.</b> Общие сведения о структуре водных растворов, состоянии ионов в растворах и образовании координационных соединений в растворах. Константа равновесия и селективность ионного обмена. Электроселективность. Взаимосвязь селективности ионного обмена с взаимодействиями в фазе раствора и фазе ионита. Уравнение Эйзенмана. Природа селективности катионного и анионного обмена. Особенности ионного обмена на комплексообразующих ионитах, комплексообразование ионов металлов с функциональными группами ионитов. Понятие изотермы сорбции. Влияние состава растворов и строения ионитов на селективность ионного обмена. Ситовой эффект. Закономерности катионного обмена и анионного обмена в разбавленных и концентрированных водных растворах. Влияние лигандов, способных к комплексообразованию с ионами металлов, на селективность ионитов. Влияние органических растворителей и температуры на избирательные свойства ионитов. Природа селективности ионного обмена на неорганических ионитах и активированных углях.</p>	2	Слайд-презентация



№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
7	<p><b>Кинетика ионного обмена.</b> Скорость ионного обмена, ионный обмен как многостадийный процесс, скоростьлимитирующая стадия. Коэффициенты диффузии ионов, эффективные коэффициенты диффузии, время полуобмена. Методы определения стадии, лимитирующей скорость ионного обмена. Уравнения, описывающие пленочную и гелевую кинетику. Экспериментальное определение эффективных коэффициентов диффузии ионов. Влияние заряда обменивающихся ионов, концентрации растворов, набухания, пористой структуры и природы функциональных групп ионитов на величину коэффициентов внутренней диффузии. Влияние температуры на скорость ионного обмена, энергия активации ионообменных процессов. Особенности кинетики ионного обмена на неорганических и комбинированных ионитах.</p>	2	Слайд-презентация
8.	<p><b>Динамика ионного обмена. Ионообменная хроматография.</b> Явления, происходящие при протекании раствора через колонку с ионитом, формирование фронта сорбции ионов в колонне и его перемещение по высоте слоя. Выходные кривая сорбции и десорбции ионов, емкость до проскока и полная динамическая обменная емкость. Уравнение Шилова. Основные виды ионообменной хроматографии: фронтальная, элюентная (обычная элюентная, ступенчатая, селективная, вытеснительная, с замедлителем,). Представления о тарелочной теории.</p>	4	Слайд-презентация
9.	<p><b>Основные стадии ионообменных процессов. Способы реализации ионообменных процессов на практике (сорбция из пульпы, сорбция из растворов). Аппаратурное оформление ионообменных процессов.</b> Основные стадии ионообменного процесса: подготовка ионита, сорбция, десорбция, регенерация ионита, промывка. Особенности проведения десорбции ионов металлов из ионитов различной природы. Сорбция из растворов и сорбция из пульпы. Применение колонных аппаратов с неподвижным слоем ионита, с движущимся слоем ионита, каскадов аппаратов с перемешиванием ионита.</p>	2	Слайд-презентация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
10.	<p><b>Общие принципы, лежащие в основе выбора ионообменных процессов для решения технологических задач. Методики проведения экспериментальных технологических исследований.</b></p> <p>Основные факторы, определяющие выбор ионита, технологическую схему процесса и его аппаратное оформление: состав растворов, степень, состояние извлекаемых и посторонних ионов в исходных растворах (катионы, анионы, нейтральные молекулы, коллоидные частицы), допустимость изменения параметров исходных растворах, легкость десорбции извлекаемых компонентов из ионитов и возможность простого выделения ценных компонентов из десорбатов в виде товарных продуктов или полупродуктов, удобных для дальнейшей переработки (или выделения вредных компонентов в виде компактных соединений, пригодных для захоронивания). Общий порядок и методика проведения исследований для выбора ионита и принципиальной технологической схемы процесса.</p>	2	Слайд-презентация
11.	<p><b>Ионообменные процессы в технологии отдельных редких, цветных, благородных металлов, радиоактивных элементов, высокочистых веществ, в процессах водоподготовки, очистки сбросных растворов</b> Примеры применения ионного обмена в процессах водоочистки, в гидрометаллургии урана, молибдена, вольфрама, рения, редкоземельных элементов, золота, получения высокочистых соединений различных элементов, извлечения и очистки плутония и нептуния в процессах переработки облученного ядерного горючего, очистки жидких радиоактивных отходов от цезия-137, очистки отработанных растворов и промывных вод гальванического производства.</p>	6	Слайд-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
2	<p><b>Классификация ионообменных материалов.</b></p> <p>Особенности строения неорганических ионитов. Состав функциональных групп ионообменных смол. Ионообменные мембраны</p>	1	Слайд-презентация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
4	<b>Физико-химические свойства и основные характеристики ионитов.</b> Способы определения основных характеристики ионитов. Особенности проведения потенциометрического титрования ионитов.	1	Слайд-презентация. Групповая дискуссия.
6	<b>Равновесие ионного обмена, селективность ионитов.</b> Особенности селективности катионного и анионного обмена. Ряды сродства ионов к катионитам, анионитам и комплексообразующим ионитам. Коэффициенты распределения, разделения, константы обмена.	1	Слайд-презентация. Групповая дискуссия
7	<b>Кинетика ионного обмена.</b> Основные количественные характеристики, описывающие кинетику ионного обмена. Экспериментальное определение времени полуобмена, эффективных коэффициентов диффузии ионов.	2	Слайд-презентация.
8	<b>Динамика ионного обмена. Ионообменная хроматография.</b> Факторы, влияющие на форму выходной кривой: селективность и кинетика ионного обмена, скорость подачи раствора, зернение сорбента, отношение высоты слоя сорбента к диаметру колонны, температура. Применение различных видов хроматографии для решения практических задач.	2	Слайд-презентация. Групповая дискуссия
9	<b>Основные стадии ионообменных процессов. Способы реализации ионообменных процессов на практике (сорбция из пульп, сорбция из растворов). Аппаратурное оформление ионообменных процессов.</b> Особенности проведения процессов сорбции из пульп. Сорбционное выщелачивание. Типы колонных аппаратов.	2	Слайд-презентация.
10	<b>Общие принципы, лежащие в основе выбора ионообменных процессов для решения технологических задач. Методики проведения экспериментальных технологических исследований.</b> Последовательность проведения отдельных экспериментов при выборе ионообменной технологии (на примерах из практики).	2	Слайд-презентация. Групповая дискуссия
11	<b>Ионообменные процессы в технологии отдельных редких, цветных, благородных металлов, радиоактивных элементов, высокочистых веществ, в процессах водоподготовки, очистки сбросных растворов.</b> Умягчение и деионизации воды. Ионный обмен в технологии рассеянных редких элементов. Особенности хроматографического разделения редкоземельных металлов.	5	Слайд-презентация. Групповая дискуссия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	ИТОГО	16	

#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

№	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час)
1	4	Основные физико-химические характеристики ионов.	18
2	6	Равновесие ионного обмена, селективность ионов. Изотермы сорбции.	24
3	7	Кинетика ионного обмена.	12
4	8	Динамика ионного обмена. Выходные кривые сорбции и десорбции	24
5	6	Методики проведения экспериментальных технологических исследований.	12
		ИТОГО	90

Контроль освоения компетенций проводится по результатам собеседования по выполненным лабораторным работам.

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
2	История развития практики применения ионообменных процессов. Области применения органических и неорганических ионов.	8	Устный опрос №1
3	Общие принципы синтеза полимеризационных ионообменных смол. Виды функциональных групп и способы их введения в полимерную матрицу. Побочные реакции, протекающие при синтезе анионитов.	6	Устный опрос №2
4	Кислотно-основные свойства катионитов и анионитов различного типа.	12	Устный опрос №3
5	Радиационная стойкость ионов. Радиоллиз воды. Прямое и косвенное действия ионизирующего излучения на иониты.	6	Устный опрос №4

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
6	Основные факторы, влияющие на необменное поглощение электролита. Виды изотерм сорбции. Основные способы регулирования избирательности ионитов к тем или иным ионам.	12	Устный опрос №5
7	Влияние степени сшивки и морфологией матрицы ионитов на кинетику ионного обмена.	8	Устный опрос №6
8	Форма выходных сорбции и десорбции. Применение метода элюентной хроматографии для разделения лантанидов.	14	Устный опрос №7
9	Виды колонных аппаратов, принципы их работы. Оценка числа ступеней сорбции при извлечении ионов металлов из пульп.	6	Устный опрос №8
10	Порядок действий при выборе ионообменного сорбента для технологий, основанных на сорбции из осветленных растворов и на сорбции из пульп.	8	Устный опрос №9
11	Ионообменные процессы извлечения урана из сульфатных и карбонатных растворов и пульп.	16	Устный опрос №10
	ИТОГО	96	

Контроль освоения компетенций проводится в форме устных опросов.

#### **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.

При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Пример варианта вопросов на экзамене:

Вариант № 1

1. Классификация ионообменных смол. Типы полимерных матриц ионообменных смол, функциональные группы катионитов, анионитов, комплексообразующих ионитов. Маркировка ионообменных смол.
2. Основные принципы, лежащие в основе выбора ионообменной технологии. Методика проведения технологических исследований.

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. Основные характеристики ионитов: полная обменная емкость, удельный объем, набухаемость, и способы их определения.
2. Динамика ионного обмена. Полная динамическая обменная емкость и емкость до проскока. Выходные кривые сорбции и десорбции. Оценка полноты десорбции.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

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

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. (ЭБ).
2. Блохин, А.А. Ионообменный метод извлечения ванадия(V) из сульфатных растворов: практикум / А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2017. – 30 с. (ЭБ).
3. Химия и технология скандия: учебное пособие /А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, В.А. Кескинов, М.А. Афонин, А.В. Нечаев. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014. – 52 с. (ЭБ).
4. Блохин, А.А. Технология молибдена и вольфрама: текст лекций /А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013. –93 с. (ЭБ).
5. Блохин, А.А. Кинетика ионного обмена: методические указания/ А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, А.А. Копырин.- СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2009. 22 с. (ЭБ).

**б) дополнительная литература:**

6. Копырин, А.А. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива. / А.А. Копырин, А.И. Карелин, В.А. Карелин М.: Атомэнергоиздат, 2006. 576 с.
7. Блохин, А.А. Гидрометаллургия вольфрама: учебное пособие / А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, А.А. Копырин.- СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2009. 91 с. (ЭБ)

**в) вспомогательная литература:**

8. Блохин, А.А. Ионообменный метод извлечения соединений редких элементов: методические указания/ А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, А.А. Копырин.- СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2003. 20 с.

9. Вольдман, Г.М. Основы экстракционных и ионообменных процессов гидрометаллургии/ Г.М. Вольдман.- М.: Metallurgia, 1982. - 376 с.
10. Сенявин, М.М. Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ/ М.М. Сенявин.- М. Химия, 1980. - 272 с.
11. Мархол, М. Ионообменники в аналитической химии: в 2-х частях/ М. Мархол.- М.: Мир, 1985. - 545 с.
12. Риман, В. Ионообменная хроматография в аналитической химии/ В. Риман, Г. М. Уолтон.-М.: Наука, 1973. - 375 с.
13. Иониты в химической технологии /Под ред. Б.П.Никольского и П.Г.Романкова. -Л.: Химия, 1982. - 376 с.
14. Иониты в цветной металлургии /Под ред. К.Б.Лебедева. -М.: Metallurgia, 1975. -351 с.
15. Меретуков, М.А. Процессы жидкостной экстракции и ионообменной сорбции в цветной металлургии/ М.А. Меретуков.- М.: Metallurgia, 1978. -120 с.
16. Гельферих, Ф. Иониты/ Ф. Гельферих.- М.: ИЛ, 1962. -490 с.
17. Ионный обмен /Под ред. Я.Маринского. -М.: Мир, 1968. -565 с.
18. Салдадзе, К.М. Комплексообразующие иониты/ К.М. Салдадзе, В.Д. Копылова-Валова.- М.: Химия, 1980. -336 с.
19. Амфлетт, Ч. Неорганические иониты / Ч. Амфлетт.- М.: Мир, 1966. -188 с.
20. Хабаши, Ф. Основы прикладной металлургии. В 2-х томах. Т. 2. Гидрометаллургия / Ф. Хабаши.- М.: Metallurgia, 1975. -392 с.
21. Блохин, А.А. Определение физико-химических характеристик ионитов: методические указания/ А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, А.А. Копырин.- СПб.: СПбГТИ (ТУ) , 2003. 30 с

## **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. Шаповалова, Е.Н. Хроматографические методы анализа. Методическое пособие для специального курса / Е.Н Шаповалова, А.В. Пирогов - М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007. 109 с. Режим доступа - <http://www.chem.msu.su/rus/teaching/analyt/chrom/part1.pdf>
2. Барченков, И. В. Основы сорбционной технологии извлечения золота и серебра из руд /И. В. Барченков - М.: Metallurgia, 1982. 128 с. Режим доступа - <http://uvelir.info/files/969417/?download>
3. Конюхов В.Ф. Хроматография: учебник / В.Ф. Конюхов - СПб.: Лань, 2012. 224 с. Режим доступа - <https://e.lanbook.com/reader/book/4044/#2>

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

Все виды занятий по дисциплине 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 УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Положение о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся (Приказ ректора от 12.12.2014 № 463).

При изучении дисциплины предусматривается использование активных форм проведения занятий: с разбором конкретных ситуаций, сложившихся в зонах воздействия опасных и вредных факторов, и возможных принципов и методов защиты.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, необходимо 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;
- видеоматериалы и учебные фильмы;
- взаимодействие с обучающимися посредством электронной почты.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Операционные системы Windows, стандартные офисные программы (Microsoft Office).

### **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, выполнения курсовых работ 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, фотоколориметры, весы технические и аналитические, рН-метры.

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  
«Ионообменные процессы в технологии редких и радиоактивных элементов»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

<b>Компетенции</b>		
<b>Индекс</b>	<b>Формулировка</b>	<b>Этап формирования</b>
<b>ПК- 1</b>	способностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции	промежуточный
<b>ПСК-1.1</b>	способностью к безопасному проведению, контролю, усовершенствованию и разработке технологических процессов производства основных функциональных материалов ядерного топливного цикла, в том числе с использованием радиоактивных материалов	промежуточный
<b>ОПК-2</b>	способностью профессионально использовать современное технологическое и аналитическое оборудование, способностью к проведению научного исследования и анализу полученных при его проведении результатов ;	промежуточный

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

<b>Показатели оценки результатов освоения дисциплины</b>	<b>Планируемые результаты</b>	<b>Критерий оценивания</b>	<b>Компетенции</b>
Освоение раздела № 1. Введение. Основные понятия и терминология	Знание областей применения ионообменных процессов Умение формулировать цели и задачи, решаемых с помощью метода ионообменной сорбции. Владение основной терминологией.	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 1	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
Освоение раздела №2. Классификация ионообменных материалов	Знание основных типов ионообменных материалов. Умение оценивать основные области ионитов различного типа. Владение классификацией ионообменных материалов	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 2-10	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела № 3. Общие сведения о синтезе ионообменных материалов	Знание основ синтеза ионообменных материалов. Умение оценивать достоинства и недостатки ионитов, синтезированных тем или иным способом. Владение информацией об основных методах синтеза ионитов различной природы	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 6-10	ПК-1 ОПК-2
Освоение раздела №4. Физико-химические свойства и основные характеристики ионитов	Знание наиболее важных характеристик ионитов. Умение определять основные характеристики ионитов. Владение методами определения основных характеристик ионитов.	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 11-13	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
Освоение раздела № 5. Механическая, термическая, химическая и радиационная стойкость ионитов, отравление ионитов.	Знание механической, термической, химической и радиационной стойкости ионитов различного типа. Умение оценивать граничные условия, позволяющие применять ионообменные сорбенты. Владение методами оценки стойкости ионитов и способов устранения отравления ионитов.	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 24-28	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
Освоение раздела №6. Равновесие ионного обмена, селективность ионитов	Знание природа селективности катионного и анионного обмена, а также особенностей ионного обмена на комплексообразующих ионитах Умение выбирать иониты и условия сорбции для решения определенных практических задач. Владение критериями, лежащими в основе выбора ионита для решения тех или иных задач.	Правильные ответы на вопросы к экзамену №14-20	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
Освоение раздела №7. Кинетика ионного обмена	Знание стадий ионообменного процесса, понятия скоростylimитирующей стадии, уравнений, описывающие пленочную и гелевую кинетику. Умение выявлять скоростylimитирующую стадию и рассчитывать время полуобмена эффективные коэффициенты диффузии ионов Владение экспериментальными методами исследования кинетики сорбции.	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 21-23	ПК-1 ОПК-2

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела №8. Динамика ионного обмена. Ионообменная хроматография	<p>Знание явлений, происходящих при протекании раствора через колонку с ионитом, формирование фронта сорбции ионов в колонне и его перемещение по высоте слоя, способов описания динамики ионного обмена.</p> <p>Умение снимать выходные кривые сорбции и десорбции, рассчитывать значения емкости ионита до проскока и его полной динамической обменной емкости.</p> <p>Владение экспериментальными методами исследования динамики ионообменной сорбции.</p>	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 33-37	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
Освоение раздела №9. Основные стадии ионообменных процессов. Способы реализации ионообменных процессов на практике (сорбция из пульпы, сорбция из растворов). Аппаратурное оформление ионообменных процессов.	<p>Знание основных стадий ионообменного процесса, способов проведения ионообменных процессов (сорбция из растворов и сорбция из пульпы), типов применяемых колонных аппаратов</p> <p>Умение рассчитать числа ступеней сорбции при извлечении ионов металлов из пульпы исходя из изотерм сорбции и рабочей линии.</p> <p>Владение критериями, лежащими в основе выбора способа проведения сорбционного процесса и. если процесс проводится в динамических условиях, типа колонного аппарата.</p>	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 29-32	ПК-1, ПСК-1.1 ОПК-2
Освоение раздела №10. Общие принципы, лежащие в основе выбора ионообменных процессов для решения технологических задач. Методики проведения экспериментальных технологических исследований.	<p>Знание основных факторов, определяющих выбор ионита для решения конкретной задачи, технологическую схему процесса и его аппаратурное оформление: состав растворов,</p> <p>Умение подобрать ионит и выбрать условия проведения сорбционного процесса при решении той или иной практической задачи</p> <p>Владение методами проведения экспериментальных технологических исследований</p>	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 38	ПК-1 ОПК-2

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела №11. Ионнообменные процессы в технологии отдельных редких, цветных, благородных металлов, радиоактивных элементов, высококочистых веществ, в процессах водоподготовки, очистки сбросных растворов	Знание наиболее важных ионнообменных процессов, применяемых в технологии редких, радиоактивных, благородных и цветных металлов, при водоподготовке, очистки сбросных растворов Умение на основе полученных знаний прогнозировать, какого типа ионит следует использовать в том или ином процессе. Владение информацией об ионнообменных процессах, лежащих в основе технологии ряда редких, радиоактивных, благородных и цветных металлов, при водоподготовке и обезвреживании растворов.	Правильные ответы на вопросы к экзамену № 39-53	ПСК-1.1 ОПК-2

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

промежуточная аттестация проводится в форме экзамена и зачета.

Результат оценивания экзамена – балльный.

Результат оценивания зачета – «зачтено», «не зачтено».

### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации.

#### а) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции

##### ПК-1, ПСК-1.1, ОПК-2.

1. Основные области использования ионного обмена в современной химической технологии и гидрометаллургии.
2. Общая классификация ионнообменных материалов.
3. Классификация неорганических ионитов. Принципиальные методы синтеза гранулированных неорганических ионитов.
4. Ионнообменные свойства неорганических ионитов различного типа, природа селективности неорганических ионитов.
5. Классификация ионнообменных смол. Типы полимерных матриц ионнообменных смол, функциональные группы катионитов, анионитов, комплексообразующих ионитов. Маркировка ионнообменных смол.
6. Синтез конденсационных и полимеризационных ионнообменных смол (принципиальные основы). Гелевые и макропористые ионнообменные смолы, сравнительные характеристики. Основы синтеза макропористых ионнообменных смол.
7. Способы введения функциональных групп в полимерные матрицы полимеризационных ионитов.
8. Ионнообменные мембраны. Типы ионнообменные мембраны, принципиальные способы синтеза гомогенных и гетерогенных мембран. Применение ионнообменных мембран.

9. Активные угли. Получение, строение, ионообменные свойства, применение.
10. Твэксы и импрегнанты. Способы введения экстрагентов в полимерные матрицы.
11. Основные характеристики ионитов: полная обменная емкость, удельный объем, набухаемость, и способы их определения. Взаимосвязь набухания ионитов с их емкостью, сшитостью, видом противоиона, концентрацией и кислотностью раствора.
12. Необменная сорбция электролитов (Доннановское поглощение). Факторы, от которых зависит величина необменной сорбции электролитов.
13. Кислотно-основные свойства ионитов, форма кривых потенциометрического титрования (зависимостей емкости от pH растворов) сильно- и слабокислотных катионитов, сильно- и слабоосновных анионитов.
14. Понятие селективности ионного обмена. Константа равновесия ионного обмена, коэффициент распределения, коэффициент разделения. Понятие электроселективности.
15. Взаимосвязь селективности ионного обмена с взаимодействиями в фазе раствора и в фазе ионита.
16. Основные факторы, определяющие селективность катионного и анионного обмена. Ряды сродства катионов к сильно- и слабокислотным катионитам, анионов к анионитам.
17. Влияние строения ионитов (природы матрицы и сшитости) на селективность ионного обмена. Ситовой эффект.
18. Особенности ионного обмена на комплексообразующих ионитах. Комплексообразование ионов металлов с функциональными группами ионитов.
19. Общие особенности ионного обмена в концентрированных растворах. Влияние концентрации и состава растворов на селективность катионного обмена и анионного обмена.
20. Анионообменная сорбция ионов металлов в растворах с переменной концентрацией кислот или солей, анионы которых способны к комплексообразованию с ионами металлов (на примере соляной кислоты).
24. Механическая стойкость ионитов: механическая прочность и осмотическая устойчивость. Факторы, влияющие на механическую стойкость ионитов, методы оценки.
25. Термическая устойчивость ионитов. Процессы, происходящие при нагревании или замораживании ионообменных смол и неорганических ионитов. Основные факторы, определяющие термическую устойчивость ионитов, критерии оценки.
26. Химическая устойчивость ионообменных смол и неорганических ионитов. Реакции, протекающие при взаимодействии ионитов с растворами различных реагентов. Методы оценки химической устойчивости ионитов.
27. Радиационная стойкость ионитов. Реакции в ионитах, протекающие под действием радиационного облучения. Методы оценки радиационной стойкости ионитов. Сравнительные данные о радиационной стойкости ионитов различной природы.
28. Отравление ионитов и способы его устранения.
29. Стадии ионообменного процесса. Основные способы осуществления ионообменных процессов (статический, динамический, неподвижный, движущийся).

слой ионита), их достоинства и недостатки, критерии, лежащие в основе выбора способа.

- 30 Основные типы ионообменных аппаратов.
31. Понятие изотермы сорбции. Принцип расчета числа аппаратов при проведении ионообменного процесса в каскаде аппаратов статических условиях (в аппаратах с перемешиванием).
32. Сорбция в каскаде аппаратов статических условиях. Сорбция из пульпы, сорбционное выщелачивание
33. Динамика ионного обмена. Формирование фронта сорбции ионов в колонне и его перемещение по высоте слоя. Полная динамическая обменная емкость и емкость до проскока. Выходные кривые сорбции.
34. Уравнение Шилова. Основные факторы, оказывающие влияние на форму выходных кривых.
35. Десорбция (элюирование) ионов. Выходные кривые десорбции. Факторы, оказывающие влияние на форму выходных кривых десорбции. Основы тарелочной теории.
36. Виды ионообменной хроматографии (фронтальная, элюентная). Критерии применимости того или иного вида хроматографии для разделения ионов металлов.
37. Элюентная хроматография и ее разновидности. Применение различных видов хроматографии для решения практических задач.
38. Основные принципы, лежащие в основе выбора ионообменной технологии. Методика проведения технологических исследований.

#### **Вопросы для оценки сформированности элементов компетенций ПК-1, ОПК-2.**

21. Кинетика ионного обмена. Понятие скоростьюлимитирующей стадии. Характер зависимостей степени достижения равновесия от времени при пленочной и гелевой диффузии. Методы определения стадии, лимитирующей скорость ионного обмена.
22. Коэффициенты диффузии ионов, взаимное влияние обменивающихся ионов, эффективные коэффициенты диффузии, время полуобмена. Основные факторы, влияющие на скорость ионного обмена.
23. Влияние температуры на равновесие и кинетику ионного обмена.

#### **а) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенций ПСК-1.1, ОПК-2.**

39. Ионный обмен в процессах водоподготовки (декатионирование, деионизация).
40. Применение активных углей в гидрометаллургии золота.
41. Применение ионообменных смол в гидрометаллургии золота.
42. Ионный обмен в технологии урана.
43. Ионный обмен в технологии молибдена.
44. Ионный обмен в технологии вольфрама.
45. Ионный обмен в технологии рения.
46. Ионный обмен в технологии скандия.
47. Ионный обмен в технологии разделения редкоземельных элементов и получения соединений индивидуальных редкоземельных элементов.

48. Ионный обмен в технологии платиновых металлов.
49. Ионный обмен в гидрометаллургии меди.
50. Ионный обмен в гидрометаллургии никеля и кобальта.
51. Ионнообменные процессы очистки промышленных сбросных растворов и сточных вод предприятий обработки цветных металлов, гальванических установок.
52. Ионный обмен в технологии плутония
53. Ионный обмен в процессах обезвреживания жидких радиоактивных отходов в атомной энергетике.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все запланированные лабораторные работы. При сдаче экзамена студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 30 мин.

#### **4. Темы курсовых работ (примеры)**

1. Сорбционное извлечение ванадия на анионитах различной основности.
2. Сорбционное извлечение урана из карбонатных растворов.
3. Конверсия вольфрамата натрия в вольфрамат аммония с помощью сильноосновных анионитов.
4. Конверсия вольфрамата натрия в вольфрамат аммония с помощью слабоосновных анионитов.
5. Извлечение рения из сульфатных растворов на анионитах с различной морфологии матрицы.
6. Кинетика сорбции рения на анионитах с различной морфологии матрицы.
7. Сорбционное извлечение рения из растворов от выщелачивания пылей медно-никелевого производства.
8. Сравнительные данные по сорбции молибдена из растворов минеральных кислот на фосфонокислотных катионитах и анионитах
9. Сорбционное извлечение молибдена из травильных растворов электролампового производства.
10. Извлечение родия из хлоридных растворов на анионитах и комплексообразующих ионитах.
11. Нахождение условий десорбции железа из фосфорнокислотных катионитов.
12. Сорбционное извлечение палладия из многокомпонентных хлоридных растворов
13. Извлечение молибдена в процессе осаждения вольфрамовой кислоты сорбцией из пульпы.
14. Катионообменное извлечение лантана из бедных растворов.
15. Сорбция скандия из растворов минеральных кислот на ионитах различных классов.
16. Сорбционное извлечение скандия из карбонатно-бикарбонатных растворов.
17. Опробование новых ионитов для сорбционного извлечения рения.
18. Опробование новых ионитов для сорбционного извлечения скандия.
19. Сорбционная очистка растворов РЗЭ от примесей .

**5. 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.