

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Физико-технический институт



УТВЕРЖДАЮ

Директор ФТИ

 О.Ю. Долматов

«23» 06 2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«ИОНООБМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»
НА УЧЕБНЫЙ ГОД

Направление ООП 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Профиль подготовки (специализация) Физика кинетических явлений

Квалификация (степень) академический бакалавр

Базовый учебный план приема 2015 г.

Курс III семестр 6

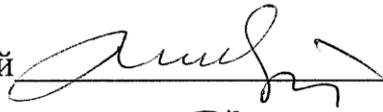
Количество кредитов 6

Код дисциплины Б1.ВМ5.4.2

Виды учебной деятельности	Временной ресурс
Лекции, ч	16
Практические занятия, ч	32
Лабораторные занятия, ч	32
Аудиторные занятия, ч	80
Самостоятельная работа, ч	136
ИТОГО, ч	216

Вид промежуточной аттестации экзамен

Обеспечивающее подразделение кафедра «Техническая физика»

Заведующий кафедрой  И.В. Шаманин

Руководитель ООП  Д.С. Исаченко

Профессор  А.П. Вергун

2015 г.

- методами теории подобия для решения задач, связанных с применением на практике результатов научных исследований.

В процессе освоения дисциплины у студентов развиваются следующие компетенции:

1. Универсальные (общекультурные) -

готовность к

- самостоятельной работе, планированию и организации деятельности;
- саморазвитию при обучении;
- кооперации с коллегами, работе в группе;

способность

- понимать принципы формирования основ и концепций дисциплины, её развития, использовать результаты других дисциплин;
- использовать современные информационные технологии;
- владеть приёмами обнаружения и решения проблем;
- владеть профессиональным иностранным языком на уровне не ниже разговорного.

2. Профессиональные -

- знание закономерностей проведения ионообменных процессов в равновесных и нестационарных условиях, кинетики и динамики ионного обмена;
- знания и умения совершенствовать ионообменное оборудование (колонны, электродиализные аппараты), технологические процессы с точки зрения их ресурсоэффективности;
- умение использовать в ионообменных и электроионитных процессах методы физической активации среды с целью их совершенствования.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Содержание разделов дисциплины.

Дисциплина содержит 2 модуля:

1. Теоретические основы ионообменной технологии.
2. Процессы разделения и очистки веществ с применением ионитов.

4.2. Структура дисциплины.

Таблица 1.

Структура дисциплины
по разделам и формам организации обучения

Название темы	Аудиторная работа (час)			СРС (час)	Контр. раб.	Итого
	Лекции	Практич. занятия	Лабор. занятия			
Модуль 1. Теоретические основы ионообменной технологии (блк.; 18пр.)						
1. Введение Области использования ионообменных соединений. Актуальность исследований по разработке новых типов	0,5			4		

ионитов и технологических процессов с их применением. Перспективы применения ионообменных процессов для разделения и тонкой очистки веществ.						
2. Классификация ионитов Неорганические и органические иониты. Ионообменные смолы. Катиониты и аниониты. Полуфункциональные иониты.	0,5	2		4		
3. Ионообменная ёмкость. Методы определения полной обменной ёмкости. Влияние внешних условий на ёмкость ионита. Способы выражения состава фаз. Обратимость процесса ионного обмена.	0,5	2	4	8		
4. Подготовка ионитов к работе. Подготовка ионитов и катионитов. Методы анализа при подготовке ионитов к работе. Направление совершенствования методов подготовки ионообменных смол.	0,5		4	8		
5. Ионообменное равновесие. Коэффициенты распределения и разделения, расчёт, графические методы определения. Селективность ионитов, факторы, влияющие на её величину.	1	4		8		
6. Изотермы сорбции. Определение изотермы. Выпуклая и вогнутая изотерма. Определение характеристик ионообменных процессов на основании изотерм. Методы построения изотерм сорбции. Стандартная диаграмма.	0,5	2		8	2	
7. Константы ионного обмена. Эквивалентная, рациональная, термодинамическая константы ионного обмена, связь между ними. Методы расчёта и экспериментального определения констант. Влияние условий проведения ионообменных процессов на величину констант. Константы обмена и ряды селективности.	0,5	4		8		

<p>8. Пленочная кинетика ионного обмена. Внешняя диффузия при ионном обмене. Изменение концентрации в фазе ионита и раствора при плёночной кинетике. Дифференциальное уравнение для описания процесса ионного обмена при плёночной кинетике. Экспериментальное определение вида кинетики.</p>	1	2	4	8		
<p>9. Гелевая кинетика ионного обмена. Концентрационные профили при гелевой кинетике. Определение значений коэффициентов диффузии в фазе ионита. Факторы, влияющие на эту величину. Дифференциальное уравнение процесса ионного обмена для внутридиффузионной кинетики. Особенности смешанной кинетики ионного обмена. Методы определения вида кинетики обмена.</p>	1	2	4	8	2	
<p>Модуль 2. Процессы разделения и очистки веществ с применением ионитов (10 лк.14пр.,32лаб.)</p>						
<p>1. Динамика ионного обмена. Расчет ионообменных колонн без учёта кинетических факторов. Особенности формирования фронта ионного обмена в колоннах. Основные характеристики динамики ионообменной сорбции в колоннах.</p>	1	2		8		
<p>2. Время защитного действия. Эмпирическое уравнение динамики сорбции в колонне. Зависимость времени защитного действия от высоты слоя ионита. Коэффициент защитного действия ионита в колонне. Скорость движения стационарного фронта сорбционной волны.</p>	1	2		8		
<p>3. Высота работающего слоя ионита в колонне. Экспериментальное</p>	1	2		8		

определение. Расчёт высоты работающего слоя с учётом кинетических факторов. Определение высоты единицы переноса. Методы расчёта числа единицы переноса.						
4. Ионообменное оборудование процессов разделения и очистки веществ. Колонны со стационарным слоем ионита. Ионообменные колонны с противотоком фаз. Аппараты со взвешенным слоем ионита. Устройство пачуков.	1	2		8	2	
5. Водоподготовка с применением ионитов. Методы расчёта конструкции ионообменных фильтров. Особенности выбора и применения ионообменных смол в процессах водоподготовки. Регенерация ионитов в схемах водоподготовки.	2	2	8	8		
6. Разделительные процессы с применением ионообменников. Особенности термодинамики и кинетики разделительных процессов в системе ионит-раствор. Ионообменное извлечение ценных компонентов из природных вод. Применение хроматографии для разделения ионов с близкими свойствами.	1		8	8		
7. Ионообменные мембраны, характеристики и использование. Типы ионообменных мембран. Определение основных характеристик мембран. Преимущества ионообменных мембран по сравнению с инертными. Применение ионообменных мембран в процессах разделения ионов с близкими свойствами и очистки веществ. Области применения ионитовых мембран.	2	2	8	8	2	
8. Электроионитные процессы разделения ионов и очистки	0,5	2	8	8		

веществ. Противоточная электромиграция в системе ионит-раствор. Разделение ионов и очистка веществ при электродиализе с ионообменными мембранами. Методы расчёта электроионитных процессов. Конструкции электроионитных аппаратов.						
9. Направления совершенствования ионообменных процессов. Направленный поиск ионообменных систем с максимальными эффектами разделения веществ. Разработка селективных ионообменников для разделения и тонкой очистки веществ. Применение методов физической активности среды для повышения эффективности разделения и очистки веществ в системе ионит-раствор.	0,5			8		

4.3. Распределение компетенций по разделам дисциплины.

Формируемые в ходе изучения дисциплины результаты обучения находятся в соответствии с результатами основной образовательной программы направления 140800 «Ядерная физика и технологии» и распределены по разделам дисциплины.

Таблица 2.

Распределение по разделам дисциплины планируемых результатов обучения.

№	Формируемые компетенции	Разделы дисциплины	
		1	2
1.	З.7.1	+	+
2.	З.9.1		+
3.	З.14.1	+	+
4.	У.7.1.	+	+
5.	У.9.1.		+
6.	У.14.1.	+	+
7.	В.7.1.	+	+
8.	В.9.1.		+
9.	В.14.1.	+	+

5. Образовательные технологии

Таблица 3.

Методы и формы организации обучения (ФОО)

Методы \ ФОО	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	СРС	К. пр.
Вепольный анализ	+				
Симплексный метод	+				
Крутое восхождение	+				
Методы проблемного обучения	+	+	+	+	+
Самостоятельная работа				+	

6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

6.1. Виды самостоятельной работы:

текущая и творческую/исследовательскую деятельность студентов.

Текущая СРС, направленная на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений.

- работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации в сети ИНТЕРНЕТ по индивидуально заданной проблеме курса,
- опережающая самостоятельная работа по проблеме курса,
- перевод текстов с иностранных языков по проблеме курса,
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку,
- подготовка к лабораторным занятиям;
- подготовка к зачету и экзамену.

Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа

(ТСР), ориентирована на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала студентов.

- поиск, анализ, структурирование информации по основным проблемам курса,
- выполнение расчетно-графических работ;
- исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах по основным проблемам курса;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;

- анализ статистических и фактических материалов по заданной теме, проведение расчетов, составление схем и моделей на основе статистических материалов.

6.2. Содержание самостоятельной работы студентов по дисциплине.

Самостоятельная работа включает подготовку к лекционным, практическим и лабораторным занятиям, к экзамену и изучение отдельных тем, отнесенных к самостоятельному освоению студентами с использованием литературных источников, представленных в учебной программе дисциплины. В число часов для самостоятельной работы включено необходимое время для подготовки к текущему контролю, проводимому в течение семестра.

Вопросы и задачи для самостоятельной работы студентов

ТЕСТЫ ПО ПРЕДМЕТУ «ИОНООБМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Выбрать правильный ответ

- ИОНООБМЕННИК, ИМЕЮЩИЙ ФИКСИРОВАННЫЙ ИОН NH_3^+ НАЗЫВАЕТСЯ
 - 1) катионит
 - 2) анионит
 - 3) сорбент
- РЕАКЦИЯ $\overline{2K} + H_2SO_4 \Leftrightarrow \overline{2H} + K_2SO_4$ ПРИНАДЛЕЖИТ К ТИПУ ОБМЕНА
 - 1) катионный обмен
 - 2) анионный обмен
 - 3) сорбция
- РЕАКЦИЯ $\overline{Cl} + NaOH \Leftrightarrow \overline{OH} + NaCl$ ПРИНАДЛЕЖИТ К ТИПУ ОБМЕНА
 - 1) катионный обмен
 - 2) анионный обмен
 - 3) сорбция
- ИОНИТ, ИМЕЮЩИЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫЕ ИОНЫ НАЗЫВАЮТ.
 - 1) катионит
 - 2) анионит
 - 3) сорбент
- КАТИОНИТ В Н - ФОРМЕ ЯВЛЯЕТСЯ
 - 1) твердой поликислотой
 - 2) твердым полиоснованием
- АНИОНИТ В ОН - ФОРМЕ ЯВЛЯЕТСЯ
 - 1) твердой поликислотой
 - 2) твердым полиоснованием'

7. В КАКОЙ СРЕДЕ РАБОТАЮТ СИЛЬНОКИСЛОТНЫЕ КАТИОНЫ $-SO_3$
- 1) щелочной
 - 2) кислой
 - 3) нейтральной
 - 4) любой
8. ПРИ КАКИХ ЗНАЧЕНИЯХ pH БУДУТ РАБОТАТЬ СЛАБОКИСЛОТНЫЕ КАТИОНИТЫ – COO^-
- 1) $pH \geq 7$
 - 2) $pH < 7$
 - 3) $pH > 7$
 - 4) $pH = 7$
9. ПРИ КАКИХ ЗНАЧЕНИЯХ pH БУДУТ РАБОТАТЬ СЛАБООСНОВНЫЕ АНИОНИТЫ - NH_3^+
- 1) $pH > 7$
 - 2) $pH < 7$
 - 3) $pH \geq 7$
 - 4) $pH = 7$
10. ПРИ ВНЕШНЕДИФФУЗИОННОЙ КИНЕТИКЕ В СИСТЕМЕ ИОНИТ-РАСТВОР ВОЗНИКАЮТ ГРАДИЕНТЫ КОНЦЕНТРАЦИЙ В ЭЛЕМЕНТЕ
- 1) пленка
 - 2) зерно ионита
 - 3) пленка и зерно
11. ПРИ СМЕШАННОЙ КИНЕТИКЕ В СИСТЕМЕ ИОНИТ-РАСТВОР ВОЗНИКАЮТ ГРАДИЕНТЫ КОНЦЕНТРАЦИЙ В ЭЛЕМЕНТЕ
- 1) пленка
 - 2) зерно ионита
 - 3) пленка и зерно
12. СООТНОШЕНИЕ $\frac{\Gamma_0 \bar{D} \delta}{c_0 D r_0} (5 + 2T_A^B) \ll 1$ СОБЛЮДАЕТСЯ ДЛЯ КИНЕТИКИ ВИДА
- 1) пленочная
 - 2) гелевая

Задача 1

Установить соответствие:

- | | |
|---|--|
| а) $\overline{H} KCl \leftrightarrow \overline{K} + HCl$ | катионный обмен |
| $\overline{OH} + HCl \leftrightarrow \overline{Cl} + H_2O$ | анионный обмен |
| $\overline{2K} + H_2SO_4 \leftrightarrow \overline{2H} + K_2SO_4$ | сорбция |
| $\overline{Cl} + NaOH \leftrightarrow \overline{OH} + NaCl$ | экстракция |
| б) ИОНИТ, С ПОЛОЖИТЕЛЬНО
ЗАРЯЖЕННЫМИ ИОНАМИ | АНИОНИТ
СОРБЕНТ |
| ИОНИТ, С ОТРИЦАТЕЛЬНО
ЗАРЯЖЕННЫМИ ИОНАМИ | КАТИОНИТ |
| в) КАТИОНИТ В Н-ФОРМЕ | ТВЕРДАЯ ПОЛИКИСЛОТА
НЕЙТРАЛЬНЫЙ СОРБЕНТ |
| АНИОНИТ В ОН-ФОРМЕ | ТВЕРДОЕ ПОЛИОСНОВАНИЕ |

Задача 2

При ионообменном равновесии концентрация ионов в растворе составила $C_{Na} = 0,1$; $C_K = 0,1$; $C_{Cl} = 0,2$ (мг-экв/см³). плотность электролита $\rho \approx 1$ гр/см³. Определить эквивалентную моляльность иона натрия Na^+

- 1) 0,11*
- 2) 0,10
- 3) 0,15
- 4) 0,13

Задача 3

При ионообменном равновесии концентрация ионов в растворе составила. $C_{Na} = 0,1$; $C_K = 0,1$; $C_{Cl} = 0,2$ (мг-эв/см³) ПЛОТНОСТЬ ЭЛЕКТРОЛИТА $\rho \approx 1$ гр/см³. Определить эквивалентную долю иона натрия

- 1) 0,4
- 2) 0,5
- 3) 0,3
- 4) 0,6

Задача 4

Концентрация ионов Na^+ в растворе составила $C_{Na^+} = 0,1$; $\Gamma_{Na^+} = 0,1$ (мг-экв/см³), плотность набухшего ионита $\rho_{наб} = 1,2$ гр/см³. Величина влагоемкости $\overline{W} = 0,6$. Найти величину коэффициента распределения λ

- 1) 1,85
- 2) 1,98
- 3) 1,92*
- 4) 1,90

Задача 5

Концентрация ионов Na^+ и K^+ в ионите и в растворе соответственно равны $\Gamma_{Na^+} = 0,1$; $\Gamma_{K^+} = 1,2$ (мг-экв/гр), $C_{Na^+} = C_{K^+} = 0,1$ (мг-экв/см³). Рассчитать величину эквивалентной концентрационной. Константы ионообменного равновесия

- 1) 1,4
- 2) 1,3
- 3) 1,2*
- 4) 1,1

Задача 6

Концентрация ионов pa^+ и k^+ в ионите и в растворе соответственно равны $\Gamma_{Na^+} = 0,1$; $\Gamma_{k^+} = 1,2$ (мг-экв/гр), $C_{Na^+} = C_{k^+} = 0,1$ (мг-экв/см³). Рассчитать величину рациональной концентрационной константы ионообменного равновесия

- 1) 1,5
- 2) 1,4
- 3) 1,2
- 4) 1,3

Задача 7

Определить обменную динамическую емкость на единицу слоя ионита $\Gamma_{0всл}$ и на единицу набухшего ионита Γ_{ov} для колонки с внутренним диаметром d_k , содержащий слой ионита высотой H , если при пропускании через нее раствора поглощено A вещества. Пористость слоя ионита $E_0=0,5$.

Задача 8

При ионообменном равновесии концентрация ионов в растворе составила C_{Na} . Плотность электролита $\rho = 1$ г/см³

Определить:

- 1) Массовую концентрацию ионов Na ;
- 2) Эквивалентную моляльность m_{Na} ;
- 3) Эквивалентную долю N_{Na} .

Задача 9

В условиях ионообменного равновесия получена молярная емкость

$$M \Gamma_A^{6+}, M \Gamma_B^{3+}$$

Найти: $\Gamma_A^{6+}, \Gamma_B^{3+}, N_A^{6+}, N_B^{3+}, M N_A^{6+}, M N_B^{3+}$.

Задача 10

Ионит массой M поглотил из равновесного раствора объемом V (см³) Γ_A (мг-экв/г) ионов A . Начальная концентрация ионов A в растворе равнялась C_0 . Записать $K_A^B \downarrow$ для данных условий в общем виде.

Задача 11

Концентрация ионов Na^+ и K^+ в растворе C_{Na} . Плотность набухшего ионита $\rho = 1,2$ (г/см³). Величина влагосодержания $W = 0,6$. Найти величину коэффициента распределения λ .

Задача 12

Концентрация ионов Na^+ и K^+ в ионите и растворе равны соответственно $\Gamma_{Na} = 1,7$ (мг-экв/г), $\Gamma_K = 2,1$ (мг-экв/г), $C_{Na} = C_K = 0,1$ (мг-экв/г). Рассчитать величину эквивалентной и рациональной константы ионообменного равновесия.

Решение:

$$K_{Na}^K \downarrow = \left(\Gamma_K^{1/ZK} * C_{Na}^{1/ZNa} \right) / \left(\Gamma_{Na}^{1/ZNa} * C_K^{1/ZK} \right); K_{Na}^K \downarrow = 1,2353$$

$$N_K = C_K / (C_K + C_{Na}); N_K = 0,5;$$

$$N_{Na} = C_{Na} / (C_K + C_{Na}); N_{Na} = 0,5;$$

$$N_K = \Gamma_K / (\Gamma_K + \Gamma_{Na}); N_K = 0,5526;$$

$$N_{Na} = \Gamma_{Na} / (\Gamma_K + \Gamma_{Na}); N_{Na} = 0,4474;$$

$$N K_{Na}^K \downarrow = \left(N_K^{1/ZK} * N_{Na}^{1/ZNa} \right) / \left(N_{Na}^{1/ZNa} * N_K^{1/ZK} \right); K_{Na}^K \downarrow = 0,8096$$

Ответ: $K_{Na}^K \downarrow = 1,2353$; $N K_{Na}^K \downarrow = 0,8096$

6.3 Контроль самостоятельной работы

Оценка результатов самостоятельной работы организуется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателей.

Варианты контроля задач по курсу

№ задачи/ варианта	d	H	A	C _{Na}	C _K	C _{Cl}	$M_{\bar{A}^{6+}}$	$M_{\bar{A}^{3+}}$	C _{Na⁺}	Γ_{Na^+}	$\Gamma_{Na^+}^{C_{K^+}} =$	$\Gamma_{K^+}^{C_{Na^+}} = 0,1$
1	1,8	15	30	0,2	0,1	0,3	0,11	0,4	0,2	0,4	1,1	1,3
2	1,9	20	32	0,3	0,2	0,5	0,12	0,5	0,3	0,5	1,2	1,4
3	2,0	16	28	0,4	0,3	0,7	0,13	0,6	0,5	0,6	1,3	1,5
4	2,1	17	29	0,5	0,4	0,9	0,14	0,8	0,6	0,4	1,5	1,7
5	2,3	19	25	0,6	0,3	0,9	0,15	1,1	0,4	0,3	1,6	1,3
6	2,5	14	17	0,7	0,2	0,9	0,16	1,2	0,1	0,2	1,2	1,4
7	2,2	17	21	0,8	0,1	0,9	0,17	0,2	0,2	0,1	1,2	1,5
8	2,5	20	23	0,9	0,1	1,0	0,18	0,3	0,3	0,2	1,3	1,4
9	2,2	17	25	0,1	0,2	0,3	0,19	0,4	0,1	0,3	1,4	1,7
10	1,5	15	22	0,2	0,3	0,5	0,20	0,5	0,2	0,4	1,2	1,8
11	1,7	13	21	0,3	0,4	0,7	0,21	0,7	0,3	0,5	1,1	1,5
12	1,9	15	22	0,4	0,5	0,9	0,22	0,1	0,4	0,6	1,3	1,6
13	1,4	14	20	0,5	0,6	1,1	0,23	0,2	0,4	1,1	1,2	1,3
14	2,1	12	22	0,6	0,7	1,3	0,24	0,3	0,5	0,7	1,1	1,4
15	2,0	14	18	0,7	0,8	1,5	0,25	0,4	0,6	0,8	1,4	1,6
16	2,2	16	21	0,8	0,1	0,9	0,26	0,5	0,7	0,9	1,5	1,5
17	1,8	15	22	0,9	0,2	1,1	0,27	0,6	0,8	0,4	1,6	1,3
18	1,5	14	24	0,1	0,3	0,4	0,28	0,7	1,1	0,3	1,7	1,2
19	1,1	15	18	0,2	0,4	0,6	0,12	0,1	0,2	0,3	7,1	1,4
20	1,3	17	21	0,3	0,1	0,4	0,14	0,2	0,3	0,4	1,2	1,3
21	1,5	19	23	0,4	0,2	0,6	0,15	0,3	0,4	0,5	1,3	1,7
22	1,4	20	23	0,5	0,3	0,8	0,21	0,4	0,5	0,2	1,7	1,6
23	1,6	22	24	0,6	0,4	1,0	0,22	0,2	0,6	0,3	1,4	1,2
24	1,2	18	22	0,7	0,1	0,8	0,24	0,3	0,7	0,2	1,5	1,3
25	1,3	19	24	0,8	0,2	1,0	0,20	0,4	0,8	0,4	1,2	1,4
26	1,5	18	22	0,9	0,3	1,2	0,15	0,5	0,4	0,5	1,1	1,5
27	1,2	20	24	0,1	0,4	0,5	0,16	0,6	0,3	0,6	1,3	1,7
28	1,6	22	28	0,2	0,1	0,3	0,14	0,7	0,2	0,7	1,4	1,8

6.4 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Для дополнительного самостоятельного изучения дисциплины могут быть использованы следующие электронные ресурсы:

1. Ионнообменная технология разделения и очистки веществ [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. П. Вергун, В. Ф. Мышкин, А. В. Власов – Томск, 2010.

<URL:<http://www.lib.tpu.ru/fulltext3/m/2010/m39.pdf>>.

2. Применение сорбционных и мембранных методов в процессах водочистки от диклофенака [Электронный ресурс] / В. А. Власов, А. П. Вергун.
<URL:http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin_TPU/2007/v310/i1/31.pdf>.

7. Средства (ФОС) текущей и итоговой оценки качества освоения модуля (дисциплины)

Вопросы входного контроля.

1. Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений.
2. Энтропия и свободная энергия системы.
3. Основные характеристики равновесия в растворах.
4. Статистические методы определения параметров ионообменных процессов.
5. Законы диффузии.
6. Электрохимические процессы в водных растворах.

Вопросы текущего и выходного контроля.

1. Области применения ионитов, перспективы с использованием.
2. Классификация ионообменных соединений. Катиониты и аниониты, амфотерные иониты, органические и неорганические ионообменники.
3. Ионообменная емкость. Полная рабочая, адсорбционная. Единицы измерения.
4. Методы определения статической и динамической емкости.
5. Механизмы процесса ионного обмена.
6. Равновесие при ионном обмене. Константы равновесия. Связь между ними.
7. Графическое определение констант равновесия в процессах ионного обмена.
8. Лучевая диаграмма ионообменного равновесия.
9. Гелевая кинетика ионного обмена.
10. Пленочная кинетика процессов ионного обмена.
11. Смешанная кинетика ионообменных процессов.
12. Определение времени защитного действия ионита в колонне.
13. Высота работающего слоя ионита. Методы определения.
14. Расчет высоты работающего слоя с учетом кинетических факторов.
15. Основные характеристики ионообменных колонн.
16. Высота эквивалентной теоретической тарелки в колонне.
17. Особенности движения фронта ионного обмена в колонне.
18. Фронтальный анализ в ионообменной колонне.
19. Разделение ионных смесей при элюировании в колонне.
20. Ионный обмен в противоточных колоннах.
21. Электродиализ с ионообменными мембранами. Число переноса, поляризационные явления при электродиализе.
22. Расчет параметров электродиализных аппаратов.

23. Применение теории подобия к процессам ионного обмена.
24. Принципы подобного преобразования уравнений, описывающих ионообменные процессы. Критерии подобия.
25. Принципы моделирования и оптимизации ионообменных процессов.
26. Ионообменная технология извлечения золота.
27. Принципиальная схема процесса сорбции и регенерации при извлечении золота ионообменным методом.
28. Применение процессов ионного обмена для извлечения металлов.
29. Сорбция и регенерация в процессе извлечения металлов методами ионообменной технологии.
30. Конструкция ионообменных установок.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение модуля (дисциплины)

• основная литература:

1. Изотопы: свойства, получение, применение. Под. ред. В.Ю. Баранова М.: Издат. АТ.2000. С.704.
2. Заграй Я.М., Симонов И.Н., Сигал З.П. Физико-химические явления в ионообменных системах. К.: Высша шк. 1988. С.252.
3. Захаров Е.И., Рябчиков Б.Е., Дьяконов В.С. Ионообменное оборудование атомной промышленности. М.: Энергоатомиздат. 1987. С.248.
4. Леонтьева Г.В., Чиркова Л.Г. // Ионный обмен и ионометрия.-1988.-В 6. - С. 78-85.
5. Кокотов Ю.А., Золоторев П.П., Елькин Г.Э. Теоретические основы ионного обмена. - Л.: Химия. 1986.-280с.

• дополнительная литература:

1. Кафаров В.В., Глебов М.Б. математическое моделирование основных процессов химического производства. - И.: «Высшая школа». 1991.
2. Маркол М. Ионообменники в аналитической химии. - М.: Мир. 1985.
3. Сухарев Ю.И., Егоров Ю.В. Неорганические иониты типа фосфата циркония. М.: Энергоатомиздат. 1983. С. 102.
4. Гиндин Л.М. Экстракционные процессы и их применение. М.: Наука.
5. Старобинец Г.Л., Мечковский С.А. Сб. Иониты и ионный обмен. М.: Наука. 1966. С.46.
6. Федоров Н.Ф. Сорбенты и сорбционные процессы. ЛТИ. 1990. Кафаров В.В., Глебов М.Б. математическое моделирование основных процессов химического производства. - И.: «Высшая школа». 1991.

• Internet-ресурсы:

- <URL:<http://www.lib.tpu.ru/fulltext3/m/2010/m39.pdf>>.
 <URL:http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin_TPU/2007/v310/i1/31.pdf>.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

При проведении лабораторных занятий и чтении лекций используются компьютеры, мультимедиа проигрыватели, корпоративная компьютерная сеть и ИНТЕРНЕТ.

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС и ООП по направлению 14.03.02 «Ядерные физика и технологии» и профилю подготовки «Физика кинетических явлений»

Программа одобрена на заседании кафедры ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ФТИ ТПУ (протокол № 14 от «8» июня 2015 г.).

Профессор кафедры ТФ ФТИ  А.П. Вергун

Рецензент  Л.И. Дорофеева