

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

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ФТИ  
  
О.Ю. Долматов  
« 09 » 02 2016 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 2016 г.

Курс III семестр 6

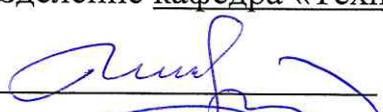
Количество кредитов 6

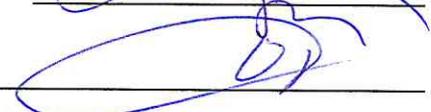
Код дисциплины Б1.ВМ5.4.2

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  О.Ю. Долматов

Профессор  А.П. Вергун

2016 г.

## **1. Цели освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является теоретическая и практическая подготовка студентов в области ионообменной технологии, формирование знаний и умений по совершенствованию ионообменных процессов, направленному поиску систем с максимальными разделительными свойствами, также выработки у студентов положительной мотивации к самостоятельной работе и самообразованию.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина относится к вариативной части профессионального цикла, связана с изучением методов тонкой очистки веществ, закономерностей обменных процессов, основных положений атомной физики, равновесия и кинетики физико-химических процессов.

До освоения данной дисциплины должны быть изучены следующие учебные курсы: «Химия», «Физика», «Основы ядерных технологий», «Уравнения математической физики», «Физические методы анализа веществ и материалов», «Введение в инженерную деятельность».

Одновременно с данной дисциплиной изучаются следующие дисциплины: «Кинетика физико-химических явлений и процессов», «Моделирование и оптимизация разделительных процессов».

## **3. Результаты освоения модуля (дисциплины)**

В результате освоения дисциплины студент должен/будет:

*Знать:*

- основные термины и определения ионообменных процессов;
- основные характеристики равновесия, кинетики и динамики процессов ионного обмена;
- технологические процессы водоподготовки, извлечения ценных компонентов из руд, разделения изотопов и веществ с применением ионообменных материалов.

*Уметь:*

- проводить расчёты 3<sup>х</sup> ступенчатых установок и электродиализных аппаратов с ионообменными мембранами;
- моделировать ионообменные и электродиализные процессы разделения и очистки веществ;
- определять оптимальные условия проведения технологических ионообменных процессов.

*Владеть:*

- методами направленного поиска систем с максимальными разделительными характеристиками для совершенствования ионообменных процессов;
- 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			
<b>Модуль 1. Теоретически основы ионообменной технологии (бл.к.; 18пр.)</b>						
<b>1.Введение Области использования ионообменных соединений. Актуальность исследований по разработке новых типов ионитов и технологических процессов с их применением.</b>	<b>0,5</b>			<b>4</b>		

<b>Перспективы применения ионообменных процессов для разделения и тонкой очистки веществ.</b>						
<b>2. Классификация ионитов Неорганические и органические иониты. Ионообменные смолы. Катиониты и аниониты. Полуфункциональные иониты.</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>		<b>4</b>		
<b>3. Ионообменная ёмкость. Методы определения полной обменной ёмкости. Влияние внешних условий на ёмкость ионита. Способы выражения состава фаз. Обратимость процесса ионного обмена.</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>8</b>		
<b>4. Подготовка ионитов к работе. Подготовка ионитов и катионитов. Методы анализа при подготовке ионитов к работе. Направление совершенствования методов подготовки ионообменных смол.</b>	<b>0,5</b>		<b>4</b>	<b>8</b>		
<b>5. Ионообменное равновесие. Коэффициенты распределения и разделения, расчёт, графические методы определения. Селективность ионитов, факторы, влияющие на её величину.</b>	<b>1</b>	<b>4</b>		<b>8</b>		
<b>6. Изотермы сорбции. Определение изотермы. Выпуклая и вогнутая изотерма. Определение характеристик ионообменных процессов на основании изотерм. Методы построения изотерм сорбции. Стандартная диаграмма.</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>		<b>8</b>	<b>2</b>	
<b>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.</b>	<b>0,5</b>	<b>4</b>		<b>8</b>		
<b>8. Пленочная кинетика ионного обмена.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>8</b>		

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

<p>кинетических факторов.  <b>Определение высоты единицы переноса. Методы расчёта числа единицы переноса.</b></p>						
<p><b>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.</b></p>	1	2		8	2	
<p><b>5. Водоподготовка с применением ионитов.  Методы расчёта конструкции ионообменных фильтров.  Особенности выбора и применения ионообменных смол в процессах водоподготовки.  Регенерация ионитов в схемах водоподготовки.</b></p>	2	2	8	8		
<p><b>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.</b></p>	1		8	8		
<p><b>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.</b></p>	2	2	8	8	2	
<p><b>8. Электроионитные процессы разделения ионов и очистки веществ.  Противоточная</b></p>	0,5	2	8	8		

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 «Ядерные 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»

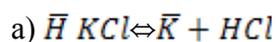
Выбрать правильный ответ

1. ИОНООБМЕННИК, ИМЕЮЩИЙ ФИКСИРОВАННЫЙ ИОН  $NH_3^+$  НАЗЫВАЕТСЯ
  - 1) катионит
  - 2) анионит
  - 3) сорбент
  
2. РЕАКЦИЯ  $\overline{2K} + H_2SO_4 \Leftrightarrow \overline{2H} + K_2SO_4$  ПРИНАДЛЕЖИТ К ТИПУ ОБМЕНА
  - 1) катионный обмен
  - 2) анионный обмен
  - 3) сорбция
  
3. РЕАКЦИЯ  $\overline{Cl} + NaOH \Leftrightarrow \overline{OH} + NaCl$  ПРИНАДЛЕЖИТ К ТИПУ ОБМЕНА
  - 1) катионный обмен
  - 2) анионный обмен
  - 3) сорбция
  
4. ИОНИТ, ИМЕЮЩИЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫЕ ИОНЫ НАЗЫВАЮТ.
  - 1) катионит
  - 2) анионит
  - 3) сорбент
  
5. КАТИОНИТ В Н - ФОРМЕ ЯВЛЯЕТСЯ
  - 1) твердой поликислотой
  - 2) твердым полиоснованием
  
6. 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 –  $\text{COO}^-$
- 1)  $\text{pH} \geq 7$
  - 2)  $\text{pH} < 7$
  - 3)  $\text{pH} > 7$
  - 4)  $\text{pH} = 7$
9. ПРИ КАКИХ ЗНАЧЕНИЯХ pH БУДУТ РАБОТАТЬ СЛАБООСНОВНЫЕ АНИОНИТЫ -  $\text{NH}_3^+$
- 1)  $\text{pH} > 7$
  - 2)  $\text{pH} < 7$
  - 3)  $\text{pH} \geq 7$
  - 4)  $\text{pH} = 7$
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  $\frac{\Gamma_o \bar{D}_o}{C_o D r_o} (5 + 2T_A^B) \ll 1$  СОБЛЮДАЕТСЯ ДЛЯ КИНЕТИКИ ВИДА
- 1) пленочная
  - 2) гелевая

### Задача 1

Установить соответствие:



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/см<sup>3</sup>). плотность электролита  $\rho \approx 1$  гр/см<sup>3</sup>. 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/см<sup>3</sup>) ПЛОТНОСТЬ ЭЛЕКТРОЛИТА  $\rho \approx 1$  гр/см<sup>3</sup>. Определить эквивалентную долю иона натрия

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

### Задача 4

Концентрация ионов на в растворе составила  $C_{Na^+} = 0,1$ ;  $\Gamma_{Na^+} = 0,1$  (мг-экв/см<sup>3</sup>), плотность набухшего ионита  $\rho_{наб} = 1,2$  гр/см<sup>3</sup>. Величина влагоемкости  $\overline{W} = 0,6$ . Найти величину коэффициента распределения  $\lambda$

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

### Задача 5

Концентрация ионов  $Na^+$  И  $K^+$  В ионите ив растворе соответственно равны  $\Gamma_{Na^+} = 0,1$ ;  $\Gamma_{K^+} = 1,2$  (мг-экв/гр),  $C_{Na^+} = C_{K^+} = 0,1$  (мг-экв/см<sup>3</sup>). Рассчитать величину эквивалентной концентрационной. Константы ионообменного равновесия

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

### Задача 6

Концентрация ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  в ионите и в растворе соответственно равны  $\Gamma_{\text{Na}^+} = 0,1$ ;  $\Gamma_{\text{K}^+} = 1,2$  (мг-экв/гр),  $C_{\text{Na}^+} = C_{\text{K}^+} = 0,1$  (мг-экв/см<sup>3</sup>). 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  $\Gamma_{\text{овкл}}$  и на единицу набухшего ионита  $\Gamma_{\text{ов}}$  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  $C_{\text{Na}}$ . Плотность электролита  $\rho = 1$  г/см<sup>3</sup>

Определить:

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

#### 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  $V$  (см<sup>3</sup>)  $\Gamma_A$  (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  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  в растворе  $C_{\text{Na}}$ . Плотность набухшего ионита  $\rho = 1,2$  (г/см<sup>3</sup>). Величина влагосодержания  $W = 0,6$ . Найти величину коэффициента распределения  $\lambda$ .

#### Задача 12

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

Решение:

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

$$N_{\text{K}} = C_{\text{K}} / (C_{\text{K}} + C_{\text{Na}}); N_{\text{K}} = 0,5;$$

$$N_{\text{Na}} = C_{\text{Na}} / (C_{\text{K}} + C_{\text{Na}}); N_{\text{Na}} = 0,5;$$

$$N_{\text{K}} = \Gamma_{\text{K}} / (\Gamma_{\text{K}} + \Gamma_{\text{Na}}); N_{\text{K}} = 0,5526;$$

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

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

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

### 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 <sub>Na</sub>	C <sub>K</sub>	C <sub>Cl</sub>	$M_{\bar{A}^{6+}}$	$M_{\bar{A}^{3+}}$	$C_{Na^+}$	$\Gamma_{Na^+}$	$\Gamma_{Na^+}^{C_{K^+}} =$	$\Gamma_{K^+}^{C_{Na^+}} = 0,1$
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. Ионообменная 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](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](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

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с

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

Программа одобрена на заседании кафедры ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ФТИ ТПУ (протокол № 21 от «27» 01 2016 г.).

Профессор кафедры ТФ ФТИ  А.П. Вергун

Рецензент  Л.И. Дорофеева

