

# МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учебно-методическое объединение по химико-технологическому образованию

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый заместитель Министра образования  
Республики Беларусь

\_\_\_\_\_ И.А. Старовойтова

\_\_\_\_\_ /тип.  
Регистрационный № ТД- \_\_\_\_\_

## **АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

**Типовая учебная программа по учебной дисциплине  
для специальности:**

1–48 01 02 Химическая технология органических веществ, материалов  
и изделий

**СОГЛАСОВАНО**

Заместитель председателя концерна  
«Белнефтехим»

\_\_\_\_\_ А.Н. Бунаков

**СОГЛАСОВАНО**

Председатель Учебно-методического  
объединения по химико-технологичес-  
кому образованию

\_\_\_\_\_ И.В. Войтов  
\_\_\_\_\_ 2019

**СОГЛАСОВАНО**

Начальник Главного управления про-  
фессионального образования Мини-  
стерства образования Республики Бела-  
русь

\_\_\_\_\_ С.А. Касперович

**СОГЛАСОВАНО**

Проректор по научно-методической ра-  
боте Государственного учреждения об-  
разования «Республиканский институт  
высшей школы»

\_\_\_\_\_ И.В. Титович

Эксперт-нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Минск 20\_\_

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**Н.А. Коваленко** – доцент кафедры физической, коллоидной и аналитической химии учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат химических наук, доцент

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Кафедра аналитической химии Белорусского государственного университета  
**В.Н. Беляцкий** – доцент кафедры биоорганической химии учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет», кандидат химических наук, доцент

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:**

Кафедрой физической, коллоидной и аналитической химии учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 2 от 20.09.2019);

Учебно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 1 от 30.09.2019);

Научно-методическим советом по химическим технологиям Учебно-методического объединения по химико-технологическому образованию (протокол № 5 от 01.10.2019)

Ответственный за редакцию: Н.А. Коваленко

Ответственный за выпуск: Н.А. Коваленко

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Аналитическая химия – наука, развивающая теоретические основы химического анализа веществ и материалов и разрабатывающая методы идентификации, разделения и определения химических элементов и их соединений, а также методы установления химического строения веществ. Методы аналитической химии (химические и физико-химические) находят широкое практическое применение в контроле технологического процесса на всех его стадиях, начиная от анализа поступающего на предприятие сырья и заканчивая контролем качества выпускаемой продукции.

Курс «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» обычно изучается в виде двух взаимосвязанных, но и достаточно автономных разделов: «Аналитическая химия» и «Физико-химические методы анализа».

Раздел «Аналитическая химия» в химико-технологических учреждениях высшего образования в значительной степени выполняет функцию общеобразовательного раздела в ряду других фундаментальных химических дисциплин.

Курс «Физико-химические методы анализа» уже в большей мере должен соответствовать собственно аналитическим задачам и давать представление о современных методах анализа, наиболее широко используемых в научно-исследовательских и производственных лабораториях, ориентированных на решение текущих химико-технологических задач.

Физико-химические и физические методы анализа (инструментальные методы анализа) являются основными методами современной аналитической химии. В настоящее время они бурно развиваются, что обусловлено, с одной стороны, успехами аналитического приборостроения, а с другой стороны, всё возрастающими запросами практики в результате научно-технического прогресса и развития новых отраслей науки и техники. В инструментальных методах реализуется всё большее число возможных принципов анализа, появляются узкоспециализированные приборы, предназначенные для анализа конкретных продуктов, приборы для автоматического контроля химико-технологических процессов. Увеличивается число приборов, сочетающих несколько аналитических методов. В настоящее время физико-химические методы анализа эффективно используют для контроля за уровнем загрязнения объектов окружающей среды – воздушного и водного бассейнов, почвы.

Цели преподавания дисциплины:

- сформировать у будущего специалиста такую систему теоретических знаний в области аналитической химии и физико-химических методов анализа, которая позволит ему в будущей профессиональной деятельности выбрать и обосновать оптимальный способ решения конкретной аналитической задачи в своей отрасли;
- обучить будущего специалиста практическим навыкам и умениям в области аналитической химии и физико-химических методов анализа, которые позволят ему при необходимости выполнить конкретную аналитическую задачу в своей отрасли.

Задачи преподавания дисциплины:

- обеспечить общенаучную подготовку будущих специалистов по аналитической химии и физико-химическим методам анализа в плане непрерывной химической подготовки с учётом будущей специальности;
- ознакомить студентов с классическими и инструментальными методами химического анализа, их теоретическими основами, аналитическими возможностями, химико-аналитическими приборами и оборудованием, использованием результатов измерений и наблюдений для целей качественного и количественного анализа различных объектов;
- показать значение различных методов аналитической химии в будущей профессиональной деятельности и применение классических и инструментальных методов для решения научных и производственных задач отрасли.

Студенты после изучения дисциплины должны

*знать:*

- теоретические основы и аналитические возможности химических и физико-химических методов анализа;
- сущность химических и физико-химических методов разделения и концентрирования;
- принципы выбора метода анализа применительно к конкретному анализируемому объекту;

*уметь:*

- проводить идентификацию и определение веществ с использованием химических и физико-химических (инструментальных) методов анализа с учетом безопасности их проведения;
- проводить математическую и графическую обработку полученных результатов для получения информации о качественном и количественном составе объекта анализа;
- выбирать метод анализа применительно к конкретному объекту.

В результате изучения учебной дисциплины «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» у студента должна быть сформирована следующая **компетенция**:

- БПК-2. Уметь применять научно-теоретические знания по химии на уровне, необходимом для решения задач, возникающих при выполнении профессиональных обязанностей.

Для усвоения данной учебной дисциплины необходимы знания следующих дисциплин: «Теоретические основы химии», «Неорганическая химия», «Высшая математика».

Дисциплина «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» создает теоретическую и практическую базу для овладения дисциплинами специальности, относящимися к компоненту УВО.

Типовой учебный план специальности 1–48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий предусматривает для изучения дисциплины 222 часа, из них аудиторных – 119 часов, в том числе: лекций – 34, лабораторных занятий – 85.

### ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов:	
		лекции	лабораторные занятия
<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>1</b>	
<b>2</b>	<b>Общие теоретические основы аналитической химии</b>	<b>2</b>	
2.1	Общие вопросы теории растворов	1	
2.2	Основные типы химических реакций, используемых в аналитической химии	1	
<b>3</b>	<b>Химические методы количественного анализа</b>	<b>13</b>	<b>35</b>
3.1	Общие вопросы количественного анализа	1	
3.2	Гравиметрические методы анализа	1	5
3.3	Титриметрические методы анализа	11	30
3.3.1	Метод кислотно-основного титрования	4	12
3.3.2	Методы окислительно-восстановительного титрования	2	8
3.3.3	Методы комплексометрического титрования	4	8
3.3.4	Методы осадительного титрования	1	2
<b>4</b>	<b>Физические и физико-химические (инструментальные) методы анализа</b>	<b>12</b>	<b>40</b>
4.1	Общие вопросы	1	
4.2	Электрохимические методы анализа	5	20
4.3	Спектроскопические и другие оптические методы анализа	6	20
<b>5</b>	<b>Методы разделения и концентрирования</b>	<b>6</b>	<b>10</b>
5.1	Общие вопросы	1	
5.2	Методы разделения и концентрирования, основанные на однократном распределении вещества между двумя фазами	2	4
5.3	Хроматографические методы анализа	3	6
	<b>ВСЕГО:</b>	<b>34</b>	<b>85</b>

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Предмет аналитической химии. Значение аналитической химии. Классификация методов аналитической химии: методы разделения, методы обнаружения и методы определения (химические и инструментальные). Цели и задачи методов.

Общая схема аналитического определения. Выбор метода анализа. Отбор пробы и пробоподготовка.

Метрологические основы аналитической химии. Статистическая обработка результатов анализа.

Аналитический контроль технологических процессов. Автоматизация и компьютеризация аналитических определений.

### 2. ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ

#### 2.1. Общие вопросы теории растворов

Раствор как среда для проведения аналитических реакций. Влияние физико-химических характеристик растворителя на химико-аналитические свойства ионов. Основы теории сильных электролитов. Активность, коэффициент активности, ионная сила растворов.

#### 2.2. Основные типы химических реакций, используемых в аналитической химии

*Кислотно-основное равновесие.* Равновесие в водных растворах кислот, оснований и амфолитов. Буферные растворы, их состав и свойства. Расчёт pH протолитических систем на основе теории Бренстеда-Лоури. Применение реакций кислотно-основного взаимодействия в аналитической химии. Значение буферных систем в химическом анализе.

*Окислительно-восстановительное равновесие.* Сопряжённая окислительно-восстановительная пара. Окислительно-восстановительный потенциал и факторы, влияющие на его значение. Окислительно-восстановительные реакции, их константа равновесия, направление и скорость. Автокаталитические и индуцированные реакции, их роль в химическом анализе. Применение реакций окисления-восстановления в аналитической химии.

*Равновесие комплексообразования.* Строение и свойства комплексных соединений. Полидентантные лиганды, хелатные комплексы, хелатный эффект. Равновесия в растворах комплексных соединений, константы устойчивости комплексных ионов. Использование реакций комплексообразования в аналитической химии.

*Равновесие в системе осадок-раствор.* Гетерогенное химическое равновесие в растворах малорастворимых электролитов. Правило произведения растворимости и его использование в аналитической химии. Константа растворимости (произведение активностей). Факторы, влияющие на растворимость малорастворимых соединений: солевой эффект, влияние одноимённых ионов и конкурирующих реакций. Использование гетерогенных систем в аналитических целях.

### 3. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА

#### 3.1. Общие вопросы количественного анализа

Цели и задачи количественного анализа. Классификация химических методов количественного анализа. Требования к точности измерений и точности вычислений в количественном анализе. Метрологические характеристики химических методов количественного анализа.

#### 3.2. Гравиметрические методы анализа

Сущность и основные операции методов. Классификация гравиметрических методов анализа – методы осаждения, прямые и косвенные методы отгонки, методы выделения. Аналитические возможности, достоинства и недостатки гравиметрических методов анализа.

Общая схема аналитического определения по методу осаждения. Осаждаемая и гравиметрическая форма, требования к ним. Неорганические и органические осадители, требования к ним. Выбор осадителя и расчёт его количества. Расчёт результатов гравиметрического определения.

Кристаллические и аморфные осадки, механизм их образования и оптимальные условия получения. Процессы коагуляции и пептизации при образовании осадков. Основные причины загрязнения осадков. Соосаждение, его роль в химическом анализе. Типы соосаждения. Способы уменьшения соосаждения и очистки осадков от соосаждённых примесей. Осаждение с колектором как эффективный способ концентрирования микроколичеств веществ.

#### 3.3. Титриметрические методы анализа

Сущность и основные операции метода. Классификация титриметрических методов анализа. Требования к реакциям, которые используются в титриметрии. Точка эквивалентности (стехиометричности). Закон эквивалентов. Конечная точка титрования и её фиксирование.

Общая схема титриметрического анализа. Стандартные растворы, их виды и способы приготовления. Способы выражения концентрации стандартных растворов (молярная концентрация, молярная концентрация эквивалента, массовая концентрация, титр, титр по определяемому веществу). Расчёты, связанные с приготовлением стандартных растворов.

Способы титрования: прямое титрование, обратное титрование, титрование заместителя. Расчёт результатов титриметрического определения.

##### 3.3.1 Метод кислотно-основного титрования.

Сущность метода, его общая характеристика. Аналитические возможности, достоинства и недостатки метода. Стандартные растворы, их приготовление, стандартизация и условия хранения.

Кислотно-основные индикаторы. Теория индикаторов, основное уравнение теории индикаторов. Основные количественные характеристики индикаторов: интервал перехода, показатель титрования.

Кривые кислотно-основного титрования, их расчёт и прогнозирование. Факторы, влияющие на величину скачка. Кривые титрования сильных и слабых кислот основаниями, сильных и слабых оснований кислотами. Кривые

титрования солей слабых кислот и солей слабых оснований. Кривые титрования многоосновных кислот. Кривые титрования смесей кислот и смесей оснований. Правило выбора индикатора. Индикаторные ошибки титрования.

### 3.3.2 Методы окислительно-восстановительного титрования.

Сущность, общая характеристика и классификация методов окислительно-восстановительного титрования. Требования к окислительно-восстановительным реакциям, которые применяются в титриметрии. Расчёт факторов эквивалентности веществ, участвующих в окислительно-восстановительных реакциях.

Кривые окислительно-восстановительного титрования. Факторы, влияющие на величину скачка. Способы фиксирования конечной точки титрования. Безиндикаторное титрование. Окислительно-восстановительные индикаторы, механизм их действия, интервал перехода. Правило выбора индикатора.

Перманганатометрия. Сущность и основные реакции метода. Стандартные и вспомогательные растворы метода, их приготовление, стандартизация и условия хранения. Фиксирование конечной точки титрования. Условия проведения перманганатометрических определений. Аналитические возможности, достоинства и недостатки.

Иодометрия. Сущность и основные реакции метода. Стандартные и вспомогательные растворы метода, их приготовление, стандартизация и условия хранения. Фиксирование конечной точки титрования. Условия проведения иодометрических определений. Аналитические возможности, достоинства и недостатки иодометрического метода анализа.

### 3.3.3 Методы комплексометрического титрования.

Сущность, общая характеристика и классификация методов комплексометрического титрования. Требования к реакциям комплексообразования, которые применяются в титриметрии.

Комплексометрия. Сущность метода. Комплексоны, их строение и свойства. Реакции взаимодействия комплексонов с ионами металлов, их стехиометрия. Побочные реакции, влияющие на равновесие образования комплексонов.

Кривые комплексометрического титрования. Факторы, влияющие на величину скачка. Способы фиксирования конечной точки титрования в комплексометрии. Металлохромные индикаторы, механизм их действия, интервал перехода и правило выбора.

Стандартные и вспомогательные растворы метода, их приготовление, стандартизация и условия хранения. Условия проведения комплексометрических определений. Аналитические возможности и достоинства метода комплексометрического титрования.

### 3.3.4 Методы осадительного титрования.

Сущность, общая характеристика и классификация методов осадительного титрования. Представление об основных методах, кривых титрования, индикаторах, стандартных и вспомогательных растворах. Аналитические возможности, достоинства и недостатки методов осадительного титрования.

## 4. ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ (ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ) МЕТОДЫ АНАЛИЗА

### 4.1. Общие вопросы

Различия между химическими, физическими и физико-химическими методами анализа. Особенности и преимущества инструментальных методов анализа. Классификация инструментальных методов анализа. Значение инструментальных методов анализа в современной науке и химической технологии.

Аналитический сигнал, его получение и измерение. Составляющие аналитического сигнала (значимые, мешающие и шумовые сигналы). Аналитический сигнал фона, холостая проба. Зависимость между аналитическим сигналом и концентрацией определяемого компонента (уравнение связи). Приёмы определения неизвестной концентрации компонента в инструментальных методах анализа: методы градуировочного графика, стандартов, добавок и инструментальное титрование. Сущность и условия применимости каждого приёма.

Метрологические характеристики инструментальных методов анализа.

### 4.2. Электрохимические методы анализа

Классификация электрохимических методов анализа.

*Кондуктометрические методы анализа.* Сущность и классификация кондуктометрических методов анализа: прямая кондуктометрия и кондуктометрическое титрование. Аналитические возможности и метрологические характеристики методов.

Удельная электрическая проводимость как аналитический сигнал, факторы, влияющие на величину сигнала. Зависимость удельной электрической проводимости от концентрации, причины отклонения от линейной зависимости в области больших концентраций. Эквивалентная электрическая проводимость, факторы, влияющие на её величину. Подвижность ионов, уравнение Кольрауша.

Измерение аналитического сигнала. Кондуктометрическая ячейка и измерительные приборы. Современные кондуктометры и кондуктометрические датчики.

Прямая кондуктометрия: сущность метода, приёмы нахождения неизвестной концентрации, применение для целей анализа.

Кондуктометрическое титрование: сущность метода, кривые титрования индивидуальных веществ и смесей для реакций кислотно-основного взаимодействия, осаждения, комплексообразования. Факторы, влияющие на чёткость излома кривых титрования в каждом случае.

*Потенциометрические методы анализа.* Сущность и классификация потенциометрических методов анализа: прямая потенциометрия (ионометрия) и потенциометрическое титрование. Аналитические возможности и метрологические характеристики методов.

Измерение аналитического сигнала. Индикаторные электроды и электроды сравнения, требования к ним. Измерительные приборы. Современные

иономеры, рН-метры, милливольтметры. Современные электродные системы (потенциометрические датчики, комбинированные электроды).

Классификация электродов в зависимости от принципа работы: электронообменные (металлические) и ионообменные (мембранные, ионоселективные) электроды, уравнения Нернста для них.

Ионометрия. Ионоселективные электроды, зависимость их потенциала от активности определяемых ионов в отсутствие и в присутствии мешающих ионов, уравнение Никольского. Основные характеристики ионоселективных электродов, потенциометрический коэффициент селективности. Методы определения концентрации ионов с использованием ионоселективных электродов.

Потенциометрическое титрование: сущность метода, кривые титрования индивидуальных веществ и смесей. Графические способы определения конечной точки титрования. Выбор системы электродов для проведения потенциометрического титрования с использованием кислотно-основных и окислительно-восстановительных реакций, реакций осаждения и комплексообразования. Неводное потенциометрическое титрование.

*Электрогравиметрия и кулонометрия.* Сущность методов, их аналитические возможности и метрологические характеристики. Применение закона Фарадея в электрогравиметрии и кулонометрии. Виды кулонометрического анализа: прямая кулонометрия и кулонометрическое титрование. Способы индикации конечной точки титрования при кулонометрическом титровании. Понятие о современных кулонометрических титраторах.

*Вольтамперометрические методы анализа.* Сущность и классификация вольтамперометрических методов анализа. Аналитические возможности и метрологические характеристики методов.

Электролитическая ячейка и измерительные приборы. Поляризация электродов, требования к электродам. Жидкие и твёрдые рабочие электроды, понятие о современных видах рабочих электродов (вращающиеся дисковые, модифицированные, ртутно-графитовые электроды *in situ* и др.). Современные приборы для вольтамперометрического анализа – полярографы, вольтамперометрические анализаторы.

Вольтамперная зависимость (полярограмма, полярографическая волна). Остаточный, диффузионный и предельный диффузионный токи. Зависимость предельного диффузионного тока от концентрации. Основные характеристики волны – потенциал полуволны и высота волны, их использование для целей качественного и количественного анализа. Уравнение Гейровского, его применение в анализе. Условия получения волны. Миграционный и конвекционный токи, их подавление.

Приёмы нахождения неизвестной концентрации в вольтамперометрии. Амперометрическое титрование.

Инверсионная вольтамперометрия. Сущность и особенности метода, его аналитические возможности и метрологические характеристики. Основные этапы инверсионно-вольтамперометрического определения. Вольтамперная зависимость, её основные характеристики – потенциал пика и высота

(глубина) пика, их использование для целей качественного и количественного анализа.

#### 4.3. Спектроскопические и другие оптические методы анализа

Классификация спектроскопических и других оптических методов анализа в зависимости от спектрального диапазона, в котором измеряют величину аналитического сигнала, и в зависимости от явлений, которые происходят при взаимодействии света с веществом.

*Атомная спектроскопия в ультрафиолетовой и видимой областях.* Теоретические основы метода. Законы испускания и поглощения электромагнитного излучения атомами. Способы атомизации пробы и возбуждения атомов.

Эмиссионная фотометрия пламени. Сущность метода, его аналитические возможности и метрологические характеристики. Эмиссионные спектры, их происхождение, получение и регистрация. Основные характеристики линий эмиссионного спектра, их использование для качественного и количественного анализа. Резонансные спектральные линии, их значение в анализе. Процессы, протекающие в пламени при распылении в нём исследуемого раствора. Возбуждение частиц в пламени, распределение Больцмана. Зависимость интенсивности излучения от концентрации элемента в растворе, причины отклонения от линейности. Влияние различных факторов на результаты пламенно-фотометрических определений. Мешающее влияние катионов и анионов. Приёмы определения неизвестной концентрации. Основные узлы и общий принцип работы приборов эмиссионной фотометрии пламени. Пламя как источник возбуждения и атомизатор, его характеристики (температура, состав).

Атомно-абсорбционная спектроскопия. Теоретические основы и аналитические возможности метода.

*Абсорбционная спектроскопия в ультрафиолетовой и видимой областях.* Электронные спектры поглощения, их происхождение, получение и регистрация. Основные характеристики полос поглощения, их использование для качественного и количественного анализа. Основные величины, характеризующие светопоглощение. Закон Бугера-Ламберта-Бера, условия его применимости, причины отклонений от него. Закон аддитивности светопоглощения.

Фотоколориметрия и спектрофотометрия: сущность, аналитические возможности и метрологические характеристики методов. Основные этапы фотометрического определения. Фотометрические реакции и фотометрические реагенты. Выбор условий фотометрического определения (длина волны, толщина поглощающего слоя). Оптимальный интервал значений светопоглощения.

Прямые и косвенные приёмы определения неизвестной концентрации. Фотометрическое титрование, виды кривых титрования. Определение светопоглощающих веществ в смеси. Представление об экстракционно-фотометрических методах анализа.

Приборы абсорбционной спектроскопии – фотоколориметры, спектрофотометры, абсорбциометры. Основные узлы и общий принцип работы. Источники света различных областей спектра, монохроматизаторы (призмы, дифракционные решётки, светофильтры), кюветы, приёмники света. Элементная база современных приборов абсорбционной спектроскопии.

*Флуориметрия.* Спектры флуоресценции. Квантовый выход флуоресценции. Приборы для флуоресцентного анализа. Аналитические возможности и метрологические характеристики флуориметрии.

*Нефелометрия и турбидиметрия.* Сущность методов, их аналитические возможности и метрологические характеристики.

Взаимодействие света со взвешенными частицами. Закон Рэлея. Зависимость аналитического сигнала от концентрации вещества в нефелометрии и турбидиметрии. Условия проведения нефелометрических и турбидиметрических измерений. Приёмы определения неизвестной концентрации.

Приборы для нефелометрических и турбидиметрических измерений – нефелометры, мутномеры, турбидиметры, фотоколориметры, спектрофотометры, абсорбциометры. Основные узлы и общий принцип работы.

*Рефрактометрия.* Сущность метода, его аналитические возможности и метрологические характеристики.

Показатель преломления как аналитический сигнал, факторы, влияющие на величину сигнала. Условия проведения рефрактометрических измерений. Удельная и молярная рефракция. Формула Лоренца-Лорентца и правило аддитивности рефракции, их использование для анализа бинарных смесей.

Рефрактометры. Основные узлы и общий принцип работы. Предельный угол преломления и его значение при измерении АС. Специализированные рефрактометры, шкала Брикса. Современные рефрактометры для проведения экспресс-анализа, их элементная база.

## **5. МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ**

### **5.1. Общие вопросы**

Сущность, задачи и основные количественные характеристики методов разделения и концентрирования. Константа и коэффициент распределения, степень извлечения. Классификация методов разделения и концентрирования.

### **5.2. Методы разделения и концентрирования, основанные на однократном распределении вещества между двумя фазами**

*Экстракция.* Сущность экстракции и её применение в анализе. Экстракционное равновесие. Скорость экстракции. Условия проведения экстракции.

*Сорбционные методы.* Сущность сорбционных методов и их применение в анализе. Классификация сорбционных методов по механизму взаимодействия вещества с сорбентом. Органические и неорганические сорбенты.

*Ионный обмен.* Сущность ионного обмена и его применение в анализе. Иониты, их классификация. Строение ионитов. Ионообменное равновесие.

Закономерности ионного обмена. Обменная ёмкость ионитов, её виды. Факторы, влияющие на обменную ёмкость.

### 5.3. Хроматографические методы анализа

Хроматографические методы анализа, их сущность, особенности и аналитические возможности. Основы процесса хроматографического разделения. Классификация хроматографических методов. Подвижные и неподвижные фазы в хроматографии. Хроматограмма, хроматографические параметры и их использование для целей качественного и количественного анализа.

*Газовая хроматография.* Сущность метода, его разновидности. Теоретические основы и аналитические возможности газожидкостной и газодсорбционной хроматографии. Параметры удерживания. Параметры разделения. Основные узлы и принцип действия газовых хроматографов. Условия проведения эксперимента, выбор оптимальных условий хроматографирования. Методы идентификации и определения компонентов пробы в газовой хроматографии.

*Жидкостная хроматография.* Сущность и аналитические возможности метода. Основные узлы и принцип действия жидкостных хроматографов. Высокоэффективная жидкостная хроматография в адсорбционном и ионообменном вариантах.

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

#### Химические методы анализа

##### *Гравиметрия.*

1. Определение железа (III).  
*Кислотно-основное титрование.*
2. Приготовление и стандартизация рабочих растворов метода кислотно-основного титрования.
3. Определение кислот и оснований, в том числе в смеси.
4. Определение солей, в том числе в смеси.
5. Определение солей аммония методом обратного титрования.  
*Перманганатометрия.*
6. Приготовление и стандартизация рабочего раствора  $\text{KMnO}_4$ .
7. Перманганатометрическое определение восстановителей.  
*Иодометрия.*
8. Приготовление и стандартизация рабочего раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .
9. Иодометрическое определение окислителей.  
*Комплексонометрия*
10. Приготовление и стандартизация рабочего раствора ЭДТА.
11. Комплексонометрическое определение катионов, в том числе в смеси.
12. Определение общей жёсткости воды.

#### Физико-химические методы анализа

1. Определение кислот, оснований, солей методом *кондуктометрического титрования*, в том числе раздельное определение компонентов в смеси.
2. Определение кислот, оснований, солей методом *потенциометрического титрования* в водных и неводных растворах, в том числе раздельное определение компонентов в смеси, с использованием реакций комплексообразования, осаждения, окислительно-восстановительного и кислотно-основного взаимодействия.
3. *Ионометрическое определение* катионов или анионов, в том числе раздельное определение компонентов в смеси.
4. *Вольтамперометрическое определение* электроактивных веществ, в том числе раздельное определение компонентов в смеси.
5. *Инверсионно-вольтамперометрическое определение* микроколичеств электроактивных веществ, в том числе раздельное определение компонентов в смеси.
6. *Фотометрическое определение* различных веществ, в том числе раздельное определение компонентов бинарных смесей.
7. Определение ионов методом *фотометрического титрования*, в том числе раздельное определение компонентов в смеси.

8. *Спектрофотометрическое определение* различных веществ в УФ- и видимой областях, в том числе *раздельное определение* компонентов бинарных смесей.
9. *Флуориметрическое определение* различных веществ.
10. *Турбидиметрическое и нефелометрическое определение* катионов и анионов.
11. *Определение ионов щелочных и щелочно-земельных металлов методом эмиссионной фотометрии пламени*, в том числе *раздельное определение* компонентов в смеси.
12. *Рефрактометрическое определение* различных веществ, в том числе *раздельное определение* компонентов бинарных смесей.
13. *Определение полной динамической обменной ёмкости* сильнокислотного катионита.
14. *Ионообменное разделение и определение* одной или нескольких солей в растворе на *катионитах*. *Определение* общей солевой концентрации раствора.
15. *Ионообменное разделение и определение* одной или нескольких солей на *анионитах*.
16. *Газохроматографическое определение* органических веществ в многокомпонентных смесях с использованием методов *внутренней нормализации* и *внутреннего стандарта*.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

Цель самостоятельной работы – формирование у студентов навыков самообразования, приобретение опыта самостоятельного решения различных задач.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов по дисциплине «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» включает изучение теоретического и практического материала, подготовку к выполнению и защите лабораторных работ, подготовку к компьютерному тестированию по теме и дифференцированным зачетам с использованием системы дистанционного обучения Moodle (<http://dist.belstu.by>), ЭУМК по химико-аналитическим дисциплинам для самостоятельной работы студентов химико-технологических и лесохозяйственных специальностей очной и заочной форм обучения (<http://analit.belstu.by>), учебной и справочной литературы.

Аудиторная самостоятельная работа студентов по дисциплине «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» под контролем преподавателя включает выполнение и защиту лабораторных работ, компьютерное тестирование, защиту теоретического и практического материала по теме.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Радион, Е.В. Аналитическая химия. В 2-х ч. Ч.1 : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по химико-технологическим специальностям Е.В. Радион, Н.А. Коваленко. – Минск : БГТУ, 2018. – 134 с.
2. Радион, Е.В. Аналитическая химия. В 2 –х ч. Ч.2 : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по химико-технологическим специальностям Е.В. Радион, Н.А. Коваленко. – Минск : БГТУ, 2018. – 225 с.
3. Коваленко, Н.А. Аналитическая химия. Тестовые задания: учеб.-метод. пособие / Н.А. Коваленко, Г.Н. Супиченко, А.К. Болвако – Минск: БГТУ, 2016. – 98 с.
4. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа [Электронный ресурс]: электронный учебный комплекс по химико-аналитическим дисциплинам для самостоятельной работы студентов химико-технологических и лесохозяйственных специальностей очной и заочной форм обучения / А.К. Болвако, Е.В. Радион. – Минск: БГТУ, 2014. – 125 Мб
5. Васильев В.П. Аналитическая химия. В 2 кн. Кн. 1. Титриметрические и гравиметрические методы анализа: Учеб. для студ. вузов, обучающихся по химико-технол. спец. – М.: Дрофа, 2002. – 368 с.
6. Васильев В.П. Аналитическая химия. В 2 кн. Кн. 2. Физико-химические методы анализа: Учеб. для студ. вузов, обучающихся по химико-технол. спец. – М.: Дрофа, 2002. – 384 с.
7. Аналитическая химия. Физические и физико-химические методы анализа: Учебник для вузов / Под ред. О.М. Петрухина. – М.: Химия, 2001. – 496 с.
8. Соколовский, А.Е. Аналитическая химия. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие для студентов химико-технологических специальностей / А.Е. Соколовский и др. – Минск : БГТУ, 2012. – 111 с.
9. Радион, Е.В. Физико-химические методы анализа. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие для студентов химико-технологических специальностей / Е.В. Радион и др. – Минск : БГТУ, 2010. – 110 с.
10. Соколовский, А.Е. . Аналитическая химия. Справочные материалы: учебно-методическое пособие по дисциплине «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» / А.Е. Соколовский, Е.В. Радион. – Минск: БГТУ, 2005. – 80 с.

### Дополнительная

1. Основы аналитической химии. В 2 кн. Кн. 1. Общие вопросы. Методы разделения: Учеб. для вузов / Под ред. Ю.А. Золотова. – М.: Высш. школа, 2000. – 351 с.

2. Основы аналитической химии. В 2 кн. Кн. 2. Методы химического анализа: Учеб. для вузов / Под ред. Ю.А. Золотова. – М.: Высш. школа, 2000. – 494 с.
3. Основы аналитической химии. Практическое руководство: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Ю.А. Золотова. – М.: Высш. школа, 2001. – 463 с.
4. Основы аналитической химии. Задачи и вопросы: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Ю.А. Золотова. – М.: Высш. школа, 2002. – 412 с.
- 5.
6. Отто М. Современные методы аналитической химии. – М.: Техносфера, 2006. – 545 с.
7. Будников Г.К., Майстренко В.Н., Вяселев М.Р. Основы современного электрохимического анализа. – М.: Мир: Бином ЛЗ, 2003. – 592 с.