

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Лельчицкий Игорь Давыдович  
Должность: и.о. проректора по образовательной деятельности  
Дата подписания: 13.07.2026 14:57:26  
Уникальный программный ключ:  
aa5b5ee17d97a2e4d94e98e995320af94f043ce2

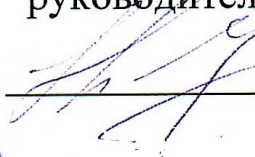
УП: 04.04.01 Химия  
AX 2025.plx

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Утверждаю:

руководитель ООП

  
Никольский В.М.

28 мая 2026г.

Рабочая программа дисциплины

## Электрохимические методы

Закреплена за  
кафедрой:

**Неорганической и аналитической химии**

Направление  
подготовки:

**04.04.01 Химия**

Направленность  
(профиль):

**Аналитическая химия**

Квалификация:

**Магистр**

Форма обучения:

**очная**

Семестр:

**1**

Программу составил(и):

*канд. хим. наук, доц., Мантров Геннадий Иванович*

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели освоения дисциплины (модуля):

Подготовка специалистов, владеющих теоретическими основами и практическими приемами ЭХМ

### Задачи :

Подготовка студентов, умеющими реализовать возможности, заложенные в аппаратуру для проведения ЭХМ путем разработки новых методик и реализации описанных методов, а также владеющими свободной эксплуатацией основных приборов для выполнения этих анализов, обычно имеющихся в химических лабораториях (кулономеры, потенциостаты, и т.д.)

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.О

### Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Физическая химия

Аналитическая химия

Физика

Неорганическая химия

Современные инструментальные методы анализа

**Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**

Преддипломная практика

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| <b>Общая трудоемкость</b> | 4 ЗЕТ |
| Часов по учебному плану   | 144   |
| <b>в том числе:</b>       |       |
| самостоятельная работа    | 47    |
| часов на контроль         | 27    |

## 4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ОПК-1.1: Использует существующие и разрабатывает новые методики получения и характеристики веществ и материалов для решения задач в избранной области химии или смежных наук

ОПК-1.2: Использует современное оборудование, программное обеспечение и профессиональные базы данных для решения задач в избранной области химии или смежных наук

ОПК-2.1: Проводит критический анализ результатов собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ, корректно интерпретирует их

ОПК-2.2: Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ в избранной области химии или смежных наук

## 5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

| Виды контроля в семестрах: |   |
|----------------------------|---|
| экзамены                   | 1 |
| курсовые работы            | 1 |

## 6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

## 7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| №   | Наименование разделов и тем                                                                                                                                                                                         | Вид занятия | Сем. | Часов | Примечание |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------|-------|------------|
|     | Раздел 1. Введение                                                                                                                                                                                                  |             |      |       |            |
| 1.1 | Классификация и области применения ЭХМ. Кондуктометрия, теоретические основы. Кондуктометрическое титрование, оборудование. Высокочастотное титрование, физические основы, оборудование                             | Лек         | 1    | 2     |            |
| 1.2 | Анализ смеси сульфата меди и серной кислоты методом кондуктометрического титрования                                                                                                                                 | Лаб         | 1    | 3     |            |
|     | Раздел 2. Потенциометрия                                                                                                                                                                                            |             |      |       |            |
| 2.1 | Потенциометрия, теоретические основы. Потенциометрическое титрование, Теория, титрование с током и без тока. Аппаратура, применяемая в потенциометрии                                                               | Лек         | 1    | 2     |            |
| 2.2 | Определение железа (III) потенциометрическим титрованием по методу комплексообразования<br><br>Определение железа (III) потенциометрическим ОВ-титрованием                                                          | Лаб         | 1    | 5     |            |
| 2.3 | Ионоселективные электроды<br>Теория мембранных потенциалов. Свойства и применение ИСЭ. Потенциометрические биосенсоры и ферментные электроды.                                                                       | Лек         | 1    | 1     |            |
| 2.4 | Определение содержания нитрат-ионов в модельной смеси методом прямой ионометрии с использованием калибровочного графика.<br><br>Определение содержания F <sup>-</sup> в модельной смеси методом стандартных добавок | Лаб         | 1    | 6     |            |
|     | Раздел 3. Вольтамперометрический анализ                                                                                                                                                                             |             |      |       |            |

|     |                                                                                                                                                                                                                                       |         |   |    |  |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---|----|--|
| 3.1 | Вольтамперометрический анализ, теория. Классическая постоянноточная полярография, электроды и электродные процессы в полярографии. Амперометрическое титрование. Усовершенствованные типы полярографии. Переменнотоковая полярография | Лек     | 1 | 2  |  |
| 3.2 | Определение содержания серебра в модельной смеси методом вольтамперометрии с применением вращающегося дискового электрода                                                                                                             | Лаб     | 1 | 4  |  |
| 3.3 | Определение содержания серебра в модельной смеси методом инверсионной вольтамперометрии                                                                                                                                               | Лаб     | 1 | 4  |  |
| 3.4 | Вольтамперометрическое титрование для определения содержания цинка в растворе                                                                                                                                                         | Лаб     | 1 | 4  |  |
|     | Раздел 4. Электроды и сенсоры на основе электропроводных полимеров                                                                                                                                                                    |         |   |    |  |
| 4.1 | Электроды и сенсоры на основе электропроводных полимеров, их синтез и применение в аналитической химии                                                                                                                                | Лек     | 1 | 2  |  |
| 4.2 | Определение содержания тетрациклина в модельной смеси с использованием экспериментального твердотельного сенсора                                                                                                                      | Лаб     | 1 | 4  |  |
|     | Раздел 5. Электрогравиметрический анализ                                                                                                                                                                                              |         |   |    |  |
| 5.1 | Электрогравиметрический анализ, законы Фарадея.                                                                                                                                                                                       | Лек     | 1 | 2  |  |
| 5.2 | Электрогравиметрическое определение содержания меди в модельной смеси.                                                                                                                                                                | Лаб     | 1 | 8  |  |
|     | Раздел 6. кулонометрический анализ                                                                                                                                                                                                    |         |   |    |  |
| 6.1 | Кулонометрический анализ, теория, аппаратура. Кулонометрический анализ при постоянном потенциале и постоянном токе                                                                                                                    | Лек     | 1 | 4  |  |
| 6.2 | Определение содержания свинца методом потенциостатической кулонометрии                                                                                                                                                                | Лаб     | 1 | 4  |  |
| 6.3 | Определение содержания меди и свинца при совместном присутствии методом потенциостатической кулонометрии.                                                                                                                             | Лаб     | 1 | 3  |  |
|     | Раздел 7. Контроль                                                                                                                                                                                                                    |         |   |    |  |
| 7.1 | Электрохимические методы анализа                                                                                                                                                                                                      | Экзамен | 1 | 27 |  |
|     | Раздел 8. Самостоятельная работа                                                                                                                                                                                                      |         |   |    |  |
| 8.1 | «Потенциометрические методы анализа» Полярографический метод анализа Электролиз и кулонометрический метод анализа                                                                                                                     | Ср      | 1 | 47 |  |

## Образовательные технологии

### 1. Введение:

Проектная технология

Информационные (цифровые) технологии

### 2. Кулонометрия и вольтамперометрия:

Проектная технология

Дискуссионные технологии (форум, симпозиум, дебаты, аквариумная дискуссия, панельная дискуссия, круглый стол, фасилитированная и т.д.)

Информационные (цифровые) технологии

Технологии развития критического мышления

### Список образовательных технологий

|   |                                                                                                                                        |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Дискуссионные технологии (форум, симпозиум, дебаты, аквариумная дискуссия, панельная дискуссия, круглый стол, фасилитированная и т.д.) |
| 2 | Информационные (цифровые) технологии                                                                                                   |
| 3 | Активное слушание                                                                                                                      |

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

1. Почему при использовании стеклянных электродов нельзя рассчитать величину рН раствора?

Укажите правильно причину.

а. Зависимость потенциала стеклянного электрода от концентрации ионов не линейна.

б. Для работы со стеклянным электродом необходимо применять потенциометрические установки с усилителем.

в. Стеклянные электроды имеют большое сопротивление.

г. Величина потенциала стеклянного электрода зависит от состава стекла.

Какой вид будет иметь кривая, титрования смеси соляной и уксусной кислот с стеклянным индикаторным электродом?

2. Что дает применение поляризованных электродов в потенциометрическом анализе? Укажите правильный ответ.

а. С их помощью можно титровать системы, не титруемые с обычными электродами.

б. С их помощью можно получить отдельно скачки титрования для систем, дающих с обычными электродами общий скачок.

в. С их помощью можно титровать медленные потенциометрические системы.

г. Их можно применять для титрования разбавленных растворов кислот и оснований.

3. Как изменяется электрохимический эквивалент металлов в ряду периодической системы при переходе от I к III группе?

Укажите правильный ответ.

а. Уменьшается.

б. Остается неизменным.

в. Слабо возрастает.

г. Проходит через минимум.

Сравните количество электричества необходимое для выделения 1 г веществ: Na, Ca, Al. Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 3 балла; Дано верное решение, но допущены несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла – 2 балла.

Имеется верное решение только части задания – 1 балл. 1 балл – «3» 2 балла – «4» 3 балла – «5»

1. Зависимость удельной электропроводности фтористоводородной кислоты от концентрации характеризуется следующими данными:

Концентр., моль/л . 0,004 0,007 0,015 0,030 0,060 0,120 0,240 0,480

Удельная электропроводность ом-1 см-1- 2,5 3,8 5,0 8,0 14,0 26,0 50,1 98,4

Построить график зависимости электропроводности от концентрации. Вывести уравнение прямолинейного участка. Определить по графику и выведенному уравнению концентрацию раствора, если его удельная электропроводность равна  $4,5 \cdot 10^{-3}$  ом-1 см-1.

2. Кондуктометрический сосуд с 25 мл раствора едкого натра включен в цепь, содержащую постоянное сопротивление 100 ом, миллиамперметр и аккумуляторную батарею напряжением 5,85 в. В процессе титрования 0,105 н. соляной кислотой измеряли протекающий ток и получили следующие результаты:

Объем 0,105 н. соляной

кислоты, мл 0 5 10 15 20 25 30

Ток, мА 56,4 54,3 52,2 51,6 54,2 56,5

Построить график титрования в координатах удельная электропроводность — объем (с учётом разбавления) и определить концентрацию едкого натра. Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 3 балла; Дано верное решение, но допущены несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла – 2 балла; • Имеется верное решение только части задания – 1 балл. 1 балл – «3» 2 балла – «4» 3 балла – «5»

ОПК-1.2 Использует современное оборудование, программное обеспечение и профессиональные базы данных для решения задач в избранной области химии или смежных наук. 1. В каких случаях водородный электрод служит индикаторным электродом?

Укажите правильный ответ.

а. В реакциях окисления — восстановления.

б. В реакциях нейтрализации.

в. В реакциях осаждения.

г. В реакциях комплексообразования.

Какой вид будет иметь кривая, титрования раствора фосфорной кислоты раствором NaOH с водородным индикаторным электродом.

2. Какой из перечисленных факторов не влияет на величину скачка титрования в методе осаждения?

а. Скорость титрования.

б. Величина ПР осадка.

в. Растворимость осадка.

г. Концентрация растворов.

Какой вид будет иметь кривая, титрования смеси иодида и хлорида нитратом серебра с серебряным индикаторным электродом?

Укажите правильный ответ.

а. Потенциал будет уменьшаться, и на кривой титрования будет один скачок.

б. Потенциал будет увеличиваться, и на кривой титрования будет два скачка: первый, соответствующий титрованию хлорид-иона, второй — соответствующий титрованию иодид-иона.

в. Потенциал будет увеличиваться и на кривой титрования будет один скачок.

г. Потенциал будет уменьшаться, и на кривой титрования будет два скачка, соответствующих иодид- и хлорид-ионам.

3. Под влиянием каких факторов угол наклона прямых в системе

координат  $E - \lg[i/(id - i)]$  может отличаться от теоретического?

Укажите правильный ответ.

- а. Когда потенциал полуволны лежит в области далеких отрицательных потенциалов.
- б. Если исследуемый электродный процесс необратим.
- в. Если используется капилляр с очень медленно образующейся каплей.
- г. При повышенных температурах.

4. В каких случаях целесообразно применение амальгамной полярографии с накоплением? Укажите правильный ответ.

- а. Для определения больших концентраций ионов.
- б. Для определения ионов, восстанавливающихся при сильно отрицательных потенциалах.
- в. Для определения малых концентраций ионов, восстанавливающихся до металла.
- г. Для определения малых концентраций ионов, изменяющих свою валентность.

5. При полярографировании стандартных растворов соли цинка определено:

|                       |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| CZn <sup>2+</sup> , % | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 |
| h, мм                 | 8,0  | 14,0 | 22,0 | 28,0 | 37,0 |

Постройте калибровочный график в Excel. Найдите аппроксимирующую функцию. Вычислите содержание цинка в анализируемом растворе с использованием аппроксимирующей функции, если высота полярографической волны (h) раствора 25,0 мм.

6. Определите содержание (г) Fe<sup>2+</sup> в навеске исследуемого вещества, если после проведения амперометрического титрования раствором 0,01 моль-экв/л K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> с титром по Fe<sup>2+</sup> 2,8 · 10<sup>-4</sup> г/мл получены следующие результаты:

|                                                     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| VK <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , мл | 0,00 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 |
| I, мкА                                              | 120  | 80   | 60   | 40   | 20   | 10   | 10   | 10   |

Постройте кривую титрования в Excel. Найдите точку эквивалентности. По точке эквивалентности рассчитайте содержание (г) Fe<sup>2+</sup>.

Почему величина тока в процессе титрования падает?

7. Зависимость удельной электропроводности фтористоводородной кислоты от концентрации характеризуется следующими данными:

Концентр., моль/л . 0,004 0,007 0,015 0,030 0,060 0,120 0,240 0,480

Удельная электропроводность ом-1 см-1- 2,5 3,8 5,0 8,0 14,0 26,0 50,1 98,4

Построить график зависимости электропроводности от концентрации. Вывести уравнение прямолинейного участка. Определить по графику и выведенному уравнению концентрацию раствора, если его удельная электропроводность равна 4,5 10<sup>-3</sup> ом-1 см-1.

8. Кондуктометрический сосуд с 25 мл раствора едкого натра включен в цепь, содержащую постоянное сопротивление 100 ом, миллиамперметр и аккумуляторную батарею напряжением 5,85 в. В процессе титрования 0,105 н. соляной кислотой измеряли протекающий ток и получили следующие результаты:

|                                    |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Объем 0,105 н. соляной кислоты, мл | 0    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
| Ток, мА                            | 45,6 | 48,7 | 51,4 | 51,2 | 51,4 | 47,1 | 39,3 |

Построить график титрования в координатах удельная электропроводность — объем

(с учётом разбавления) и определить концентрацию едкого натра.

9. На полное восстановление цинка в кулонометрии понадобилось 26 мин при силе тока 100 мА. Определить содержание (г) и концентрацию (моль/л) цинка в растворе, если на кулонометрический анализ было взято 10 мл раствора.

10. На кулонометрическое титрование 10 мл раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  йодом, генерируемым в кулонометрической ячейке, понадобилось 22 мин при силе тока 300 мА. Определить количество затраченного электричества и молярную концентрацию эквивалента раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

4. Сопротивление ячейки с 0,1 моль-экв/л раствора  $\text{NaCl}$  равно 46,8 Ом. Площадь каждого электрода 1,50 см<sup>2</sup>, а расстояние между ними 0,75 см. Определите удельную и эквивалентную электрическую проводимость.

## 8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

«Вольтамперометрический метод анализа»

1. Под влиянием каких факторов угол наклона прямых в системе координат  $E - \lg[i/(i_d - i)]$  может отличаться от теоретического?

Укажите правильный ответ.

а. Когда потенциал полуволны лежит в области далеких отрицательных потенциалов.

б. Если исследуемый электродный процесс необратим.

в. Если используется капилляр с очень медленно образующейся каплей.

г. При повышенных температурах.

2. Какими методами можно устранить максимумы разного рода? Укажите правильный ответ.

а. Максимум третьего рода — уменьшением скорости наложения потенциала.

б. Максимум первого рода - повышением температуры.

б. Максимум четвертого рода - введением поверхностно-активного вещества.

г. Максимум второго рода — дополнительной очисткой поверхности платинового электрода.

3. В чем преимущество амперометрического титрования с индикатором?

Укажите правильный ответ.

а. Титрование более точно. б. Особых преимуществ нет.

в. Можно титровать при более положительных потенциалах.

г. Титруемый ион и титр-ант могут быть полярографически неактивны.

4. В каких случаях целесообразно применение амальгамной полярографии с накоплением? Укажите правильный ответ.

а. Для определения больших концентраций ионов.

б. Для определения ионов, восстанавливающихся при сильно отрицательных потенциалах.

в. Для определения малых концентраций ионов, восстанавливающихся до металла.

г. Для определения малых концентраций ионов, изменяющих свою валентность.

5. В чем преимущество работы методом добавок? Укажите правильный ответ.

а. Можно определять концентрации, не определяемые методом калибровочного графика.

б. Этот метод быстрее, не требует построения калибровочного графика и дает возможность полярографировать исследуемый и стандартный растворы в одинаковых условиях.

в. Этим методом можно определять ионы, высота волны которых не пропорциональна концентрации.

г. Можно использовать ртутный электрод в анодной области.



6. В каких случаях можно вести амперометрическое титрование ионов в анодной области? Укажите правильный ответ.

- а. С ртутным капельным электродом легко восстанавливающимися ионами.
- б. С платиновым электродом ионами, восстанавливающимися в далекой катодной области.
- в. С платиновым электродом легко окисляющимися веществами.
- г. С ртутным капельным электродом различными комплексообразующими веществами.

7. Какие преимущества имеет переменноточковая полярография по сравнению с классической? Укажите правильный ответ.

- а. Большая чувствительность и разрешающая способность.
- б. Быстрота.
- в. Можно снимать полярограммы в далекой анодной области.
- г. Никаких преимуществ по сравнению с классической полярографией нет.

«Электролиз и кулонометрический метод анализа»

1. Как изменяется электрохимический эквивалент металлов в ряду периодической системы при переходе от I к III группе?

Укажите правильный ответ.

- а. Уменьшается.
- б. Остается неизменным.
- в. Слабо возрастает.
- г. Проходит через минимум.

2. Какой из приведенных электрохимических эквивалентов для хлора правилен?

Укажите правильный ответ.

- а. 0,133 г/(а·ч).
- б. 3,68 г/(а·мин).
- в. 3,68 мг/к.
- г. 0,516 мл/(ма · мин).

3. Как изменяется в процессе электролиза потенциал цинкового электрода, опущенного в раствор сульфата цинка?

Укажите правильный ответ.

- а. Потенциал остается неизменным.
- б. Потенциал увеличивается.
- в. Потенциал сначала уменьшается, а затем увеличивается.
- г. Потенциал уменьшается.

4. Для каких целей проводят электролиз при контролируемом потенциале? Укажите правильный ответ.

- а. Для ускорения процесса электролиза.
- б. Для предотвращения выделения металла с близким более положительным потенциалом.
- в. Для получения более устойчивых осадков.
- г. Для предотвращения выделения металла с близким более отрицательным потенциалом.

5. Для каких целей при электролитическом выделении металлов вводят комплексообразователи? Укажите правильный ответ.

- а. Для ускорения процесса электролитического выделения.
  - б. Для выделения металлов, которые не выделяются электролизом при обычных условиях.
  - в. Для предотвращения выделения водорода и образования губчатых осадков.
  - г. Для получения более прочных осадков и разделения некоторых металлов.
6. Для каких целей применяют электролиз на ртутном катоде? Укажите правильный ответ.
- а. Для разделения металлов, образующих и не образующих амальгамы.
  - б. Для ускорения процесса электролиза.
  - в. Для разделения металлов с близкими электродными потенциалами,
  - г. Для выделения металлов в более удобной весовой форме.
7. Каковы преимущества внутреннего электролиза с диафрагмой перед внутренним электролизом без нее? Укажите правильный ответ.
- а. Можно разделять металлы с близкими электродными потенциалами.
  - б. Возрастает скорость электролиза.
  - в. Устраняется явление цементации и увеличивается допустимая концентрация определяемых ионов.
  - г. Повышается точность анализа.
8. Можно ли вести кулонометрическое титрование при постоянном потенциале? Укажите правильный ответ.
- а. Нельзя.
  - б. Можно, так же как и при постоянной силе тока.
  - в. Можно, но в цепь надо включить кулонометр для определения расхода тока на получение титранта.
  - г. Можно, но при этом требуется более точно устанавливать потенциал и поддерживать его постоянным.
10. Каковы преимущества кулонометрического титрования при постоянном токе? Укажите правильный ответ.
- а. Это титрование более быстрое, чем обычное.
  - б. Для титрования можно использовать нестойкие реагенты и само титрование точнее обычного.
  - в. Этим методом можно точно определять нестойкие, быстро окисляющиеся на воздухе вещества.
  - г. Особых преимуществ это титрование не имеет.

### 8.3. Требования к рейтинг-контролю

рейтинг не предусмотрен

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### Рекомендуемая литература

#### Основная

|      |            |
|------|------------|
| Шифр | Литература |
|------|------------|

|       |                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Л.1.1 | Александрова, Гайдукова, Физико-химические методы анализа, Москва: Юрайт, 2024, ISBN: 978-5-534-17720-6, URL: <a href="https://urait.ru/bcode/536376">https://urait.ru/bcode/536376</a>                                                             |
| Л.1.2 | Кузнецова, Григорьев, Техника лабораторного эксперимента в химии, Москва: Юрайт, 2024, ISBN: 978-5-534-14666-0, URL: <a href="https://urait.ru/bcode/544429">https://urait.ru/bcode/544429</a>                                                      |
| Л.1.3 | Егорова О. В., Физико-химические методы исследования и техника лабораторных работ. Основы микроскопии, Санкт-Петербург: Лань, 2023, ISBN: 978-5-507-46840-9, URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/322619">https://e.lanbook.com/book/322619</a> |
| Л.1.4 | Александрова, Гайдукова, Аналитическая химия в 2 книгах. Книга 1. Химические методы анализа, Москва: Юрайт, 2021, ISBN: 978-5-534-10489-9, URL: <a href="https://urait.ru/bcode/469490">https://urait.ru/bcode/469490</a>                           |
| Л.1.5 | Александрова, Гайдукова, Аналитическая химия в 2 книгах. Книга 2. Физико-химические методы анализа, Москва: Юрайт, 2021, ISBN: 978-5-534-10946-7, URL: <a href="https://urait.ru/bcode/469489">https://urait.ru/bcode/469489</a>                    |
| Л.1.6 | Александрова, Гайдукова, Аналитическая химия в 2 книгах. Книга 2. Физико-химические методы анализа, Москва: Юрайт, 2020, ISBN: 978-5-534-09460-2, URL: <a href="https://urait.ru/bcode/450453">https://urait.ru/bcode/450453</a>                    |

### Перечень программного обеспечения

|   |                                            |
|---|--------------------------------------------|
| 1 | Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows |
| 2 | Adobe Acrobat Reader                       |
| 3 | Google Chrome                              |
| 4 | Qgis                                       |
| 5 | ABBYY Lingvo x5                            |
| 6 | WinDjView                                  |
| 7 | OpenOffice                                 |
| 8 | VLC media player                           |

### Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

|   |                                                                                   |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | ЭБС «Университетская библиотека онлайн»                                           |
| 2 | ЭБС ТвГУ                                                                          |
| 3 | Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)                  |
| 4 | Репозиторий ТвГУ                                                                  |
| 5 | Виртуальный читальный зал диссертаций Российской государственной библиотеки (РГБ) |
| 6 | Журналы American Institute of Physics (AIP)                                       |
| 7 | Журналы American Chemical Society (ACS)                                           |
| 8 | Журналы издательства Taylor&Francis                                               |

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| Аудит-я | Оборудование                                                                                                                                     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3-404   | комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, аквадистиллятор, весы, ИК Фурье спектрометр, компьютер, фотоколориметр КФК-2, электропечи |

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1. Содержание дисциплины

1. Общие сведения о методах электрохимического анализа. Некоторые сведения из области электроники. Электрические сигналы. Линейные и нелинейные элементы. Электронные устройства; дифференциальный каскад, операционные усилители и типовые схемы на их основе; потенциостат и гальваностат. Цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи и микропроцессоры.

2. Приборы для измерения электрических величин. Источники питания. Стандарты сопротивления, тока и напряжения. Гальванометры и амперметры. Вольтметры и потенциометры. Кулонометры. Мосты постоянного и переменного тока.

3. Ячейки и электроды для электрохимического анализа. Эквивалентная схема электрохимической ячейки. Электроды, общие сведения. Индикаторные электроды: ртутный капаящий и пленочные электроды; угольно-пастовые электроды. Ультрамикроэлектроды. Электролиты для ячеек, растворители.

4. Термодинамика и кинетика электродных процессов. Термодинамика электрохимических систем. Электродные, ОВ, мембранные и другие потенциалы. Строение двойного электрического слоя. Потенциал нулевого заряда. Поляризация электрода и перенапряжение. Ток обмена и коэффициент переноса. Обратимость электрохимической реакции.

5. Кондуктометрия. Электропроводность электролитов. Числа переноса и подвижности ионов. Измерение электропроводности. Кондуктометрические ячейки, их константа. Кондуктометрическое титрование с использованием различных типов химических реакций. Высококачественное кондуктометрическое титрование. Диэлектрическая.

6. Равновесные методы электрохимического анализа. Потенциометрия. Металлические электроды. Ионоселективные электроды. Электроды с жесткой матрицей. Электроды с кристаллической мембраной. Газочувствительные электроды. Потенциометрические биосенсоры. Ионоселективные полевые транзисторы. Прямые потенциометрические измерения.

7. Потенциометрическое титрование с неполяризованными электродами. Кислотно-основное, ОВ и осадительное титрование, титрование по методу комплексообразования. Титрование в неводных средах. Определение конечной точки. Потенциометрическое титрование с одним или с двумя поляризованными электродами.

8. Неравновесные методы электрохимического анализа. Вольт-амперометрия, теоретические основы. Общая теория методов вольтамперометрии и модели вольтамперометрических датчиков. Взаимосвязь между фарадеевским током и потенциалом электрода. Математическая и электрическая модели вольтамперометрических датчиков.

9. Аппаратурные методы вольтамперометрии. Постоянноточковая полярография. Хроноамперометрия. Нормальная импульсная полярография. Дифференциальная импульсная полярография. Вольтамперометрия переменного тока. Переменноточковая полярография с прямо-угольным поляризующим напряжением. Хроновольтамперометрия.

Хронопотенциометрия.

10. Вольтамперометрия с электродами других типов. Вращающиеся дисковые электроды (с кольцом и без кольца). Вольтамперометрия с ультрамикроэлектродами и на границе раздела двух несмешивающихся жидких фаз.

11. Инверсионная вольтамперометрия (ИВА). Электрохимическое концентрирование определяемых элементов. ИВА малорастворимых

комплексных соединений. Вольтамперометрия органических соединений, ее особенности. Применение медиаторов в вольтамперометрии органических соединений.

13. Вольтамперометрия с химически модифицированными электродами. Способы модифицирования электродов (адсорбция модификатора на поверхности электрода, ковалентная пришивка функциональных групп и др.).

Электрокатализ на химически модифицированных электродах. Концентрирование в объем электрода.

14 Амперометрия и амперометрическое титрование. Амперометрические датчики. Амперометрические биосенсоры (на основе ферментных систем, на основе биоматериалов, амперометрические датчики в иммуноферментном анализе).

Амперометрическое титрование с одним или с двумя поляризованными электродами.

15. Кулонометрия и кулонометрическое титрование. Прямая потенциостатическая кулонометрия. Кулонометрия при контролируемой силе тока. Электрогенерирование кулонометрических титрантов в неводных средах. Кулонометрическое определение неорганических и органических соединений.

16. Электрогравиметрия. Электрохимическое разделение металлов. Внутренний электролиз. Электрохимические сенсоры (амперометрические, потенциометрические, кондуктометрические и кулонометрические сенсоры).

Методические материалы для работы на лабораторных занятиях Перечень лабораторных работ

1. Анализ смеси сульфата меди и серной кислоты методом кондуктометрического титрования Определение содержания свинца методом потенциостатической кулонометрии.

2. Определение железа (III) потенциометрическим титрованием по методу комплексообразования Определение железа (III) потенциометрическим ОВ-титрованием Определение содержания HCl в модельной смеси методом кулонометрического титрования

3. Определение содержания нитрат-ионов в модельной смеси методом прямой ионометрии с использованием калибровочного графика. Определение содержания F<sup>-</sup> в модельной

4. Определение содержания серебра в модельной смеси методом вольтамперометрии с применением вращающегося дискового электрода

5. Определение содержания серебра в модельной смеси методом инверсионной вольтамперометрии

6. Вольтамперометрическое титрование для определения содержания цинка в растворе

7. Определение содержания тетрациклина в модельной смеси с использованием экспериментального твердотельного сенсора

8. Электрогравиметрическое определение содержания меди в модельной смеси.

9. Определение содержания свинца методом потенциостатической кулонометрии

10. Определение содержания меди и свинца при совместном присутствии методом потенциостатической кулонометрии.

Методические материалы для подготовки к экзамену. Программа итогового экзамена

1. Общие сведения о методах электрохимического анализа. Некоторые сведения из области электроники. Электрические сигналы. Линейные и нелинейные элементы. Электронные устройства; дифференциальный каскад, операционные усилители и типовые схемы на их основе; потенциостат и гальваностат. Цифро-аналоговые и аналого-цифровые

преобразователи и микропроцессоры.

2. Приборы для измерения электрических величин. Источники питания.

Стандарты сопротивления, тока и напряжения. Гальванометры и амперметры.

Вольтметры и потенциометры. Кулонометры. Мосты постоянного и

3. Ячейки и электроды для электрохимического анализа. Эквивалентная схема электрохимической ячейки. Электроды, общие сведения. Индикаторные электроды: ртутный капаящий и пленочные электроды; угольно-пастовые электроды. Ультрамикроэлектроды. Электролиты для ячеек, рас-творители.

4. Термодинамика и кинетика электродных процессов. Термодинамика электрохимических систем. Электродные, ОВ, мембранные и другие потенциалы. Строение двойного электрического слоя. Потенциал нулевого заряда. Поляризация электрода и перенапряжение. Ток обмена и коэффициент переноса. Обратимость электрохимической реакции.

5. Кондуктометрия. Электропроводность электролитов. Числа переноса и подвижности ионов. Измерение электропроводности. Кондуктометрические ячейки, их константа. Кондуктометрическое титрование с использованием различных типов химических реакций. Высокочастотное кондуктометрическое титрование. Диалкометрия.

6. Равновесные методы электрохимического анализа. Потенциометрия. Металлические электроды. Ионоселективные электроды. Электроды с жесткой матрицей. Электроды с кристаллической мембраной. Газочувствительные электроды. Потенциометрические биосенсоры. Ионоселективные полевые транзисторы. Прямые потенциометрические измерения.

7. Потенциометрическое титрование с неполяризованными электродами. Кислотно-основное, ОВ и осадительное титрование, титрование по методу комплексообразования. Титрование в неводных средах. Определение конечной точки. Потенциометрическое титрование с одним или с двумя поляризованными электродами.

8. Неравновесные методы электрохимического анализа. Вольт-амперометрия, теоретические основы. Общая теория методов вольтамперометрии и модели вольтамперометрических датчиков. Взаимосвязь между фарадеевским током и потенциалом электрода. Математическая и электрическая модели вольтамперометрических датчиков.

9. Аппаратурные методы вольтамперометрии. Постоянноточковая полярография. Хроноамперометрия. Нормальная импульсная полярография. Дифференциальная импульсная полярография. Вольтамперометрия переменного тока. Переменноточковая полярография с прямо-угольным поляризующим напряжением. Хроновольтамперометрия.

Хронопотенциометрия.

10. Вольтамперометрия с электродами других типов. Вращающиеся дисковые электроды (с кольцом и без кольца). Вольтамперометрия с ультрамикроэлектродами и на границе раздела двух несмешивающихся жидких фаз.

11. Инверсионная вольтамперометрия (ИВА). Электрохимическое концентрирование определяемых элементов. ИВА малорастворимых соединений. Адсорбционное концентрирование. ИВА в анализе твердых веществ. ИВА с ультрамикроэлектродами.

12. Практическое применение методов вольтамперометрии. Типы измеряемых токов и диагностические критерии. Вольтамперометрия неорганических и комплексных соединений. Вольтамперометрия органических соединений, ее особенности. Применение медиаторов в вольтамперометрии органических соединений.

13. Вольтамперометрия с химически модифицированными электродами. Способы модифицирования электродов (адсорбция модификатора на поверхности электрода, ковалентная пришивка функциональных групп и др.).

Электрокатализ на химически модифицированных электродах. Концентрирование в объеме электрода.

14 Амперометрия и амперометрическое титрование. Амперометрические

15. Кулонометрия и кулонометрическое титрование. Прямая потенциостатическая кулонометрия. Кулонометрия при контролируемой силе тока. Электрогенерирование кулонометрических титрантов в неводных средах. Кулонометрическое определение неорганических и органических соединений.

16. Электрогравиметрия. Электрохимическое разделение металлов. Внутренний электролиз. Электрохимические сенсоры (амперометрические, потенциометрические, кондуктометрические и кулонометрические сенсоры).

17. Электрохимические детекторы (ЭХД) в проточных методах анализа. ЭХД для жидкостной хроматографии (амперометрические, потенциометрические,