

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 17.11.2023  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc29d1bb5009

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Никольский В.М.

27 июня 2023 г.



Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)  
Электрохимические методы

Направление подготовки

04.04.01 Химия

Направленность (профиль)

Аналитическая химия

Для студентов 1 курса

Составитель: к.х.н., доцент Феофанова М.А.

Тверь, 2023

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

*Целью* освоения дисциплины является:

Приобретение компетенций в области теоретических основ изучаемых методов, понимание их места в ряду других инструментальных методов анализа, а также соотношение с методами аналитической химии в целом и с другими фундаментальными химическими дисциплинами.

*Задачами* освоения дисциплины являются:

Научить студентов самостоятельно ставить задачу разработки методики определения компонентов в различных объектах; выбирать условия и методы электрохимического анализа. Уметь реализовать возможности, заложенные в аппаратуре для проведения анализа, путем разработки новых аналитических методик и реализации описанных методов. Уметь эксплуатировать основные электрохимические сенсоры и приборы для выполнения электрохимического анализа, обычно имеющихся в аналитических лабораториях (иономеры, рН-метры, полярографы, кондуктометры и т.д.); умение установить новый прибор, привести в рабочее состояние ЭХМ, устранить наиболее распространенные неисправности.

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

Дисциплина «Электрохимические методы» входит в Элективные дисциплины 1 обязательной части Блока 1. «Дисциплины» учебного плана.

Для успешного освоения дисциплины студенты должны: иметь представление:

о электрохимических методах анализа; знать основы электрохимии.

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующей для подготовки выпускной квалификационной работы, для научно-исследовательской практики.

### **3. Объем дисциплины: 4 зачетных единиц, 144 академических часа,**

**в том числе:**

**контактная аудиторная работа:** лекции - 15 часов, лабораторные работы - 45 часов, в т.ч. практическая подготовка – 45 часов;

**контактная внеаудиторная работа:** контроль самостоятельной работы 10 часов;

**самостоятельная работа:** 47 часов, контроль – 27 часов.

#### 4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>ОПК-1</b> Способен выполнять комплексные экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в избранной области химии или смежных наук с использованием современных приборов, программного обеспечения и баз данных профессионального назначения	<b>ОПК-1.1</b> Использует существующие и разрабатывает новые методики получения и характеристики веществ и материалов для решения задач в избранной области химии или смежных наук; <b>ОПК-1.2</b> Использует современное оборудование, программное обеспечение и профессиональные базы данных для решения задач в избранной области химии или смежных наук.
<b>ОПК-2</b> Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ в избранной области химии или смежных наук	<b>ОПК-2.1</b> Проводит критический анализ результатов собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ, корректно интерпретирует их; <b>ОПК-2.2</b> Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ в избранной области химии или смежных наук.

#### 5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения:

экзамен в 1-м семестре.

#### 6. Язык преподавания: русский.

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)	Контроль самостоятельной работы (час.)	Контроль
		Лекции	Лабораторные работы			
1. Введение. Классификация и области применения ЭХМ. Кондуктометрия, теоретические основы. Кондуктометрическое титрование, оборудование. Высокочастотное титрование, физические основы, оборудование.	5	1	4			
2. Потенциометрия, теоретические основы. Потенциометрическое титрование, Теория, титрование с током и без тока. Аппаратура, применяемая в потенциометрии	14	2	5	4	1	2
3. Ионоселективные электроды (ИСЭ), их типы. Теория мембранных потенциалов. Свойства и применение ИСЭ. Потенциометрические биосенсоры и ферментные электроды.	14	1	6	4	1	2
4. Вольтамперометрический анализ, теория. Классическая постоянноточковая полярография, электроды и электродные процессы в полярографии. Амперометрическое титрование.	14	1	6	4	1	2
5. Усовершенствованные типы полярографии. Переменноточковая полярография (синусоидальная, квадратно-волновая и др).	12	1	2	6	1	2

6. Инверсионная вольтамперометрия (ИВА), теория, аппаратурная реализация. Катодная и анодная ИВА, их применение в химическом анализе.	16	1	4	6	1	4
7. Способы модификации электродов для вольтамперометрического анализа (ВАА). Ультрамикроэлектроды в ВАА.	10	1	2	4	1	2
8. Вольтамперометрия с химически модифицированными электродами. Их применение в реальном анализе (анализ объектов окружающей среды и др.).	12	1	4	4	1	2
9. Электроды и сенсоры на основе электропроводных полимеров, их синтез и применение в аналитической химии	12	1	4	4	1	2
11. Электрогравиметрический анализ, законы Фарадея. Определение меди, серебра и других металлов этим методом.	11	1	2	5	1	2
12. Кулонометрический анализ, теория, аппаратура. Кулонометрический анализ при постоянном потенциале и постоянном токе.	24	4	6	6	1	7
ИТОГО	144	15	45	47	10	27

### III. Образовательные технологии

Учебная программа – наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
1. Введение. Классификация и области применения ЭХМ. Кондуктометрия, теоретические основы. Кондуктометрическое титрование, оборудование. Высокочастотное титрование, физические основы, оборудование.	лекция, лабораторная работа	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• цифровые (показ презентаций)</li> <li>• выполнение инструментальных лабораторных работ</li> </ul>
2. Потенциометрия, теоретические основы. Потенциометрическое титрование, Теория, титрование с током и без тока. Аппаратура, применяемая в потенциометрии	лекция, лабораторная работа	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция)</li> <li>• цифровые (показ презентаций)</li> <li>• выполнение инструментальных лабораторных работ</li> </ul>
3. Ионоселективные электроды (ИСЭ), их типы. Теория мембранных потенциалов. Свойства и применение ИСЭ. Потенциометрические биосенсоры и ферментные электроды.	лекция лабораторная работа	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• цифровые (показ презентаций)</li> <li>• выполнение инструментальных лабораторных работ</li> </ul>
4. Вольтамперометрический анализ, теория. Классическая постоянноточковая полярография, электроды и электродные процессы в полярографии. Амперометрическое титрование.	лекция	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция),</li> <li>• цифровые (показ презентаций)</li> </ul>
5. Усовершенствованные типы полярографии. Переменнотоковая полярография (синусоидальная, квадратно-волновая и др).	лекция,	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция)</li> <li>• цифровые (показ презентаций)</li> </ul>
6. Инверсионная вольтамперометрия (ИВА), теория, аппаратурная реализация. Катодная и анодная ИВА, их применение в химическом анализе.	лекция,	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция)</li> <li>• цифровые (показ презентаций)</li> </ul>
7. Способы модификации электродов для вольтамперометрического анализа (ВАА). Ультрамикроэлектроды в ВАА.	лекция,	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция)</li> <li>• цифровые (показ презентаций)</li> </ul>

8. Вольтамперометрия с химически модифицированными электродами. Их применение в реальном анализе (анализ объектов окружающей среды и др.).	лекция, лабораторная работа	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция)</li> <li>• выполнение инструментальных лабораторных работ</li> </ul>
9. Электроды и сенсоры на основе электропроводных полимеров, их синтез и применение в аналитической химии	лекция, лабораторная работа	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция)</li> <li>• выполнение инструментальных лабораторных работ</li> </ul>
11. Электрогравиметрический анализ, законы Фарадея. Определение меди, серебра и других металлов этим методом.	лекция, лабораторная работа	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция)</li> <li>• выполнение инструментальных лабораторных работ</li> </ul>
12. Кулонометрический анализ, теория, аппаратура. Кулонометрический анализ при постоянном потенциале и постоянном токе.	лекция, лабораторная работа	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция)</li> <li>• выполнение инструментальных лабораторных работ</li> </ul>

#### IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК-1 Способность выполнять комплексные экспериментальные и расчетно-теоретические исследования в избранной области химии или смежных наук с использованием современных приборов, программного обеспечения и баз данных профессионального назначения

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<b>ОПК-1.1</b> Использует существующие и разрабатывает новые методики получения и характеристики веществ и материалов для решения задач в избранной области химии или смежных наук;	<b>Кейс:</b> <b>1.</b> Почему при использовании стеклянных электродов нельзя рассчитать величину рН раствора? Укажите правильно причину. <i>а.</i> Зависимость потенциала стеклянного электрода от концентрации ионов нелинейна.	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»

б. Для работы со стеклянным электродом необходимо применять потенциметрические 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 потенциметрическом 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 потенциметрические 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.



	<p><b>1.</b> Зависимость удельной электропроводности фтористоводородной кислоты от концентрации характеризуется следующими данными:  Концентр., <i>моль/л</i> . 0,004 0,007 0,015 0,030 0,060 0,120 0,240 0,480  Удельная электропроводность <i>ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup></i>- 2,5 3,8 5,0 8,0 14,0 26,0 50,1 98,4</p> <p>Построить график зависимости электропроводности от концентрации. Вывести уравнение прямолинейного участка. Определить по графику и выведенному уравнению концентрацию раствора, если его удельная электропроводность равна <math>4,5 \cdot 10^{-3} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}</math>.</p> <p><b>2.</b> 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, <i>мл</i> 0 5 10 15 20 25 30  Ток, <i>мА</i> 56,4 54,3 52,2 51,6 54,2 56,5</p> <p>Построить график титрования в координатах удельная электропроводность — объем (с учётом разбавления) и определить концентрацию едкого натра.</p>	<p>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»</p>
<p><b>ОПК-1.2</b> Использует современное оборудование, программное обеспечение и профессиональные базы данных для решения задач в избранной области химии или смежных наук.</p>	<p><b>1.</b> В каких случаях водородный электрод служит индикаторным электродом?  Укажите правильный ответ.  а. В реакциях окисления — восстановления.  б. В реакциях нейтрализации.  в. В реакциях осаждения.</p>	<p>Правильно выбран вариант ответа – 1 балл Тест из 3 заданий: 1 балл – «3», 2 балла – «4», 3 балла – «5»</p>

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?

	<p>Укажите правильный ответ.</p> <p><i>а.</i> Когда потенциал полуволны лежит в области далеких отрицательных потенциалов.</p> <p><i>б.</i> Если исследуемый электродный процесс необратим.</p> <p><i>в.</i> Если используется капилляр с очень медленно образующейся каплей.</p> <p><i>г.</i> При повышенных температурах.</p> <p><b>4.</b> В каких случаях целесообразно применение амальгамной полярографии с накоплением? Укажите правильный ответ.</p> <p><i>а.</i> Для определения больших концентраций ионов.</p> <p><i>б.</i> Для определения ионов, восстанавливающихся при сильно отрицательных потенциалах.</p> <p><i>в.</i> Для определения малых концентраций ионов, восстанавливающихся до металла.</p> <p><i>г.</i> Для определения малых концентраций ионов, изменяющих свою валентность.</p>	
--	---	--

Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК-2 Способность анализировать, интерпретировать и обобщать результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ в избранной области химии или смежных наук

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<b>ОПК-2.1</b> Проводит критический анализ результатов собственных	<p><b>Кейс:</b></p> <p><b>1.</b> При полярографировании стандартных растворов соли цинка определено:</p>	Имеется полное верное решение, включа-

<p>экспериментальных и расчетно-теоретических работ, корректно интерпретирует их;</p>	<table border="0"> <tr> <td><math>C_{Zn^{2+}}</math>, %</td> <td>0,10</td> <td>0,20</td> <td>0,30</td> <td>0,40</td> <td>0,50</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>h</math>, мм</td> <td>8,0</td> <td>14,0</td> <td>22,0</td> <td>28,0</td> <td>37,0</td> <td></td> </tr> </table> <p>Постройте калибровочный график в Excel. Найдите аппроксимирующую функцию. Вычислите содержание цинка в анализируемом растворе с использованием аппроксимирующей функции, если высота полярографической волны (<math>h</math>) раствора 25,0 мм.</p> <p><b>2.</b>  Определите содержание (г) <math>Fe^{2+}</math> в навеске исследуемого вещества, если после проведения амперометрического титрования раствором 0,01 моль-экв/л <math>K_2Cr_2O_7</math> с титром по <math>Fe^{2+}</math> <math>2,8 \cdot 10^{-4}</math> г/мл получены следующие результаты:</p> <table border="0"> <tr> <td><math>V_{K_2Cr_2O_7}</math>, мл</td> <td>0,00</td> <td>0,20</td> <td>0,30</td> <td>0,40</td> <td>0,50</td> <td>0,60</td> </tr> <tr> <td><math>I</math>, мкА</td> <td>120</td> <td>80</td> <td>60</td> <td>40</td> <td>20</td> <td>10</td> </tr> </table> <p>Постройте кривую титрования в Excel. Найдите точку эквивалентности. По точке эквивалентности рассчитайте содержание (г) <math>Fe^{2+}</math>.  Почему величина тока в процессе титрования падает?</p>	$C_{Zn^{2+}}$ , %	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50		$h$ , мм	8,0	14,0	22,0	28,0	37,0		$V_{K_2Cr_2O_7}$ , мл	0,00	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	$I$ , мкА	120	80	60	40	20	10	<p>ющее правильный ответ – 3 балла;  Дано верное решение, но допущены не существенные 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»</p>						
$C_{Zn^{2+}}$ , %	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50																															
$h$ , мм	8,0	14,0	22,0	28,0	37,0																															
$V_{K_2Cr_2O_7}$ , мл	0,00	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60																														
$I$ , мкА	120	80	60	40	20	10																														
<p><b>ОПК-2.2</b> Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ в избранной области химии или смежных наук.</p>	<p><b>1.</b> Зависимость удельной электропроводности фтороводородной кислоты от концентрации характеризуется следующими данными:</p> <table border="0"> <tr> <td>Концентр., моль/л</td> <td>0,004</td> <td>0,007</td> <td>0,015</td> <td>0,030</td> <td>0,060</td> </tr> <tr> <td>Удельная электропроводность <math>ом^{-1} см^{-1}</math></td> <td>2,5</td> <td>3,8</td> <td>5,0</td> <td>8,0</td> <td>14,0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>26,0</td> <td>50,1</td> <td>98,4</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>Построить график зависимости электропроводности от концентрации. Вывести уравнение прямолинейного участка. Определить по графику и выведенному уравнению концентрацию раствора, если его удельная электропроводность равна <math>4,5 \cdot 10^{-3} ом^{-1} см^{-1}</math>.</p> <p><b>2.</b> 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:</p> <table border="0"> <tr> <td>Объем 0,105 н. соляной кислоты, мл</td> <td>0</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>25</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Ток, мА</td> <td>45,6</td> <td>48,7</td> <td>51,4</td> <td>51,2</td> <td>51,4</td> <td>47,1</td> <td>39,3</td> </tr> </table>	Концентр., моль/л	0,004	0,007	0,015	0,030	0,060	Удельная электропроводность $ом^{-1} см^{-1}$	2,5	3,8	5,0	8,0	14,0		26,0	50,1	98,4			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	<p>Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 3 балла;  Дано верное решение, но допущены не существенные 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»</p>
Концентр., моль/л	0,004	0,007	0,015	0,030	0,060																															
Удельная электропроводность $ом^{-1} см^{-1}$	2,5	3,8	5,0	8,0	14,0																															
	26,0	50,1	98,4																																	
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																													

	<p>Построить график титрования в координатах удельная электропроводность — объем (с учётом разбавления) и определить концентрацию едкого натра.</p>	
	<p><b>1.</b> 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.</p> <p><b>2.</b> На кулонометрическое титрование 10 мл раствора <math>\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3</math> йодом, генерируемым в кулонометрической ячейке, понадобилось 22 мин при силе тока 300 мА. Определить количество затраченного электричества и молярную концентрацию эквивалента раствора <math>\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3</math>.</p> <p><b>3.</b> Сопротивление ячейки с 0,1 моль-экв/л раствора <math>\text{NaCl}</math> 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.</p>	<p>Правильно вычислен результат – 1 балл Тест из 3 заданий: 1 балл – «3», 2 балла – «4», 3 балла – «5»</p>

## V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 1) Рекомендуемая литература

#### а) Основная литература:

1. Электрохимические методы анализа : руководство к лабораторному практикуму / Л.К. Неудачина, Ю.С. Петрова, Н.В. Лакиза, Е.Л. Лебедева ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2014. – 136 с. : ил., табл., схем. – ISBN 978-5-7996-1276-4 ; То же [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/29061/1/978-5-7996-1276-4\\_2014.pdf?ysclid=lomuki882v197035121](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/29061/1/978-5-7996-1276-4_2014.pdf?ysclid=lomuki882v197035121)

2. Микилева Г.Н. Аналитическая химия. Электрохимические методы анализа [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Микилева Г.Н., Мельченко Г.Г.,

Юнникова Н.В.— Электрон. текстовые данные.— Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2010. – 184 с. – Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/14357.html>

б) Дополнительная литература:

1. Аналитическая химия : учебник / Н. И. Мовчан, Р. Г. Романова, Т. С. Горбунова [и др.]. — Москва : ИНФРА-М, 2024. — 394 с. — (Высшее образование). — DOI 10.12737/12562. - ISBN 978-5-16-019473-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2084155> (дата обращения: 07.11.2023). – Режим доступа: по подписке.

2. Отто М. Современные методы аналитической химии. Москва: Техносфера, 2021. – 656 с. Электронный ресурс. – Режим доступа: <https://www.technosphera.ru/lib/book/672>

2) Программное обеспечение

Google Chrome бесплатное ПО

Яндекс Браузер бесплатное ПО

Kaspersky Endpoint Security 10 акт на передачу прав ПК545 от 16.12.2022

Многофункциональный редактор ONLYOFFICE бесплатное ПО

ОС Linux Ubuntu бесплатное ПО

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№ п/п	Вид информационного ресурса	Наименование информационного ресурса	Адрес (URL)
1.	Электронно-библиотечная система	«Университетская библиотека онлайн»	<a href="https://biblioclub.ru">https://biblioclub.ru</a>
2.	Электронно-библиотечная система	IPR SMART	<a href="https://www.iprbookshop.ru/">https://www.iprbookshop.ru/</a>

3.	Электронно-библиотечная система	«ЮРАЙТ»	<a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
4.	Электронно-библиотечная система	«Лань»	<a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>
5.	Электронно-библиотечная система	«Знаниум»	<a href="https://znanium.com/">https://znanium.com/</a>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.xumuk.ru/>
2. [http://www.krugosvet.ru/enc/nauka\\_i\\_tehnika/himiya/BIOHIMIYA.html](http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/himiya/BIOHIMIYA.html)
3. <http://elibrary.ru/>
4. <http://www.chem.msu.su/rus/teaching/kolman/index.htm>

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

### **Вопросы для самоподготовки**

#### **«Потенциометрические методы анализа»**

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.

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.

3. 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.

4. По какому из приведенных уравнений рассчитывают потенциал хингидронного электрода относительно насыщенного каломельного электрода в точке эквивалентности при титровании раствора слабой кислоты  $\text{CH}_3\text{COOH}$  слабым основанием  $\text{NH}_4\text{OH}$ ? Укажите правильный ответ.

а. ЭДС =  $E_x + E_k = 0,058 (7 + 1/2 K_{\text{кисл}})$

б. ЭДС =  $0,058 (E_k - E = 7 + 1/2 pK_{\text{осн}} - 1/2 pK_{\text{ки}})$

в. ЭДС =  $17,3 (E_x - E = 7 + 1/2 \lg (K_{\text{кисл}}/K_{\text{осн}}))$

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.

б. Как влияет концентрация посторонних комплексообразующих ионов на потенциал индикаторного электрода?

Укажите правильный ответ.



- а. Концентрация комплексообразующих ионов на потенциал не влияет.
- б. В присутствии ионов-комплексообразователей величина потенциала возрастает.
- в. В присутствии ионов-комплексообразователей величина потенциала уменьшается.
- г. В зависимости от природы комплексообразователя – потенциал может уменьшаться или увеличиваться.

7. Для какой цели при потенциометрическом титровании вводят комплексообразующие реагенты?

Укажите правильный ответ.

- а. Для увеличения или уменьшения величины потенциала в точке эквивалентности.
- б. Для расширения интервала изменения потенциала.
- в. Для уменьшения ошибки титрования.
- г. Для повышения точности при титровании нескольких компонентов при их совместном присутствии.

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

Укажите правильно причину.

- а. Зависимость потенциала стеклянного электрода от концентрации ионов нелинейна.
- 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.

#### **«Полярографический метод анализа»**

1. 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.*

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.

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

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

3. Вещество А в диапазоне потенциалов от 0 до -1,5 в образует две волны с потенциалами полуволн -0,4 и -0,8 в относительно донной ртути,

4. 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 титрант могут быть полярографически неактивны.

5. 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.

6. 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.

7. 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 комплексобразующими веществами.

10. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

### Контрольная работа

#### Раздел А

1. Определить, за какое время при электролизе раствора  $\text{FeCl}_3$  выделится 0,1 г железа, если ток равен 4 а. Сколько раствора (в мл) выделится за это время на аноде?
2. Через несколько электролитов протекает ток 2,5 а в течение 40 мин. Сколько граммов и миллилитров и каких веществ выделится на аноде и катоде при электролизе растворов  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{KOH}$ ,  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ ,  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2(\text{OH})_2$  ?
3. Рассчитать, какое количество трехвалентного металла с электро-химическим эквивалентом 0,5430 мг/к выделится при электролизе в течение 1 мин 25 сек, если ток равен 1,8 а. Что это за металл?
4. При постоянном токе 0,19 а для выделения меди на катоде и свинца в виде  $\text{PbO}_2$  на аноде из навески сплава 1,835 г потребовалось 50 мин. Определить привес анода и катода и содержание свинца и меди в сплаве (в %).
5. В сосуд, содержащий 500 мл воды, подкисленной азотной кислотой, опущен платиновый катод и серебряный анод.

6. Сколько времени нужно для электролитического растворения анода при токе 1,5 а, чтобы получить раствор нитрата серебра с титром по роданид-иону 0,002 г/мл?
7. Для полного выделения цинка из 2,250 г цинковой руды после соответствующей обработки потребовалось 18,5 мин при токе 1,15 а. Определить количество выделившегося цинка и содержание окиси цинка в руде (в %).
8. Какое количество цианидного комплекса меди необходимо, чтобы покрыть поверхность 300 см<sup>2</sup> слоем меди толщиной 0,5 мм и сколько времени будет продолжаться электролиз при токе 5а?
9. При кулонометрическом определении пикриновой кислоты C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>(OH)(NO<sub>2</sub>)<sub>3</sub> на титрование выделившегося в кулонометре иода потребовалось 11,5 мл 0,01 н. раствора тиосульфата натрия.
10. Определить содержание пикриновой кислоты в растворе, если в восстановлений ее принимает участие 18 электронов.
11. Соляная кислота кулонометрически титруется электрогенерируемыми ионами OH<sup>-</sup> при постоянном токе 10 ма. Точка эквивалентности при титровании 5 мл исследуемого раствора достигается, за 3 мин 10 сек.
12. Рассчитать титр исследуемого раствора HgI по NaOH.

## Раздел Б

- 13 Из раствора соли серебра полностью выделяется серебро при электролизе в течение 30 мин, если ток равен 3а.
14. Какой ток необходим, чтобы исходная концентрация раствора уменьшилась вдвое в течение 10 мин?
- 15 Рассчитать электрохимический эквивалент трехвалентного металла, если в результате электролиза раствора его соли при токе 3 а выделяется в течение 35 мин 0,5815 г металла. Какой это металл?
- 16 При получении амальгамы кадмия методом электролиза через раствор соли кадмия пропускали ток 0,5 а в течение 4 мин.

17. Рассчитать содержание кадмия в амальгаме (в %), если для ее получения в качестве катода было взято 15 г ртути.
18. Растворили 58,4 г сульфата меди, содержащего 7% примесей, в 500 мл воды. Сколько этого раствора надо добавить в гальваническую ванну для пополнения израсходованной меди, если электролиз проводили 3 ч при токе 1,5 а?
19. Медь, содержащую примеси висмута, выделяют электролизом из 1 М раствора сульфата меди.
20. Рассчитать, сколько меди должно остаться в растворе, чтобы не началось осаждение висмута.
21. При кулонометрическом титровании соляной кислоты проводили электролиз раствора  $K_2SO_4$ , используя ток 3 ма. При добавлении 50; 60; 80 и 100 капель соляной кислоты продолжительность электролиза составила соответственно 140; 180; 250 и 300 сек.-
22. Вычислить среднее значение нормальности соляной кислоты и ошибку, определения S, если объем одной капли равен 0,025 мл.
23. При кулонометрическом определении кобальта в 1,5 г металла в серебряном кулонометре выделилось 0,0755 г серебра.  
Определить содержание кобальта (в %) в металле.
24. Сколько времени потребуется для электролитического выделения 0,80 г кобальта из раствора при токе 250 ма?

## Раздел В

17. При кулонометрическом титровании электролитически генерируемые ионами  $Fe^{2+}$  при постоянном напряжении первоначальный ток 150 мА линейно уменьшался во времени и через 120 сек достигал нуля. Рассчитать концентрацию  $KMnO_4$ , если для титрования было взято 3,5 мл этого раствора.
18. При кулонометрическом изучении процесса восстановления комплекса при вес медного электрода кулонометра составил 0,0012 г. Количество восстановившегося комплекса 0,0183 г. Молекулярный вес его 1788. Определить число электронов, участвовавших в восстановлении.



19. Для кулонометрического определения фурана в тетрагидро-фуране два образца тетрагидрофурана по 0,05 г параллельно титруют генерируемым бромом при следующих условиях:

И образец	II образец								
Ток, лш. -. . .	10	13	18	25	35	40			
Время. титрования, сек. .	168	126	91,5	115	83,5	70,5			

Для титрования исходного тетрагидрофурана (в связи с наличием в нем бромлирующих примесей) необходимо 15 сек при токе 5 ма. Определить содержание фурана в смеси (3:2) этих образцов.

### Контрольная работа 2

1. Сопротивление 0,1 н. раствора хлорида натрия в ячейке с электродами площадью 1,50 см<sup>2</sup> и расстоянием между ними 0,75 см равно 46,8 ом.

Определить удельную и эквивалентную электропроводность хлорида натрия.

2. Эквивалентная электропроводность хлорида бария равна 123,94 олс<sup>1</sup> • см<sup>2</sup>в г-эkv<sup>-1</sup>.

Определить сопротивление в ячейке, заполненной 0,01 н. раствором хлорида бария, если площадь электродов 0,865 см<sup>2</sup>, а расстояние между ними 0,258 см.

3. При титровании 100 мл раствора уксусной кислоты 0,5 н. раствором едкого натра были получены следующие результаты;

Объем 0,5 н.

раствора

NaOH 8,0 9,0 10,0 11,0 12,0 13,0 15,0 17,0

Сопротивление,

ом' 75,0 68,1 62,3 57,0 53,2 50,8 51,5 52,1

Определить нормальность уксусной кислоты.

4. При титровании 50 мл соляной кислоты 2 н. раствором едкого кали были получены следующие результаты:

Объем 2 н. раствора

$KOH$ , мл 3,2 6,0 9,2 15,6 20,0 23,5

Уд. электропроводность,  $ом^{*l} \cdot см^{-l}$  3,2 2,56 1,86 1,64 2,38 2,96. Определить нормальность соляной кислоты.

5. При кондуктометрическом титровании 25 мл раствора хлорида бария 0,55 н. раствором серной кислоты были получены следующие отсчеты по мостику Кольрауша при длине мостика 100 см (постоянное сопротивление 50,0 ом присоединено к началу мостика):

Объем 0,55 н.

$H_2SO_4$ , мл ...3,10 3,68 4,50 5,15 6,03 6,50 6,87 7,21

Отсчет, см . .58,1 61,0 65,5 68,1 85,7 58,5 53,8 50,9

Построить кривую титрования, определить нормальность раствора хлорида бария и точность титрования.

6. При титровании 25 мл смеси соляной и уксусной кислот 0,105 н. раствором едкого натра были получены следующие показания по шкале высокочастотного прибора:

Объем 0,105 н.

раствора  $NaOH$ , мл . 2 4 5 6 7 8 9 11 13 15 16 17 18 19 Показания прибора 62 51 37 32 23 21 23 26 31 37 37 44 56 68 Определить концентрацию этих кислот (в г/л).

Раздел Б

7. Сопротивление 10%-ного раствора серной кислоты в электролитическом сосуде  $0,342 \pm 0,002$  ом.

Найти удельную и эквивалентную электропроводность, если площадь электродов  $5,25 \pm 0,05$   $см^2$ , а расстояние между ними  $0,65 \pm 0,02$  см. Плотность раствора  $1,07 \pm 0,02$  г/см<sup>3</sup>. Какое из измерений дает наибольшую ошибку? Рассчитать точность определения электропроводности.

8\*. Для определения постоянной ячейки ее заполнили при 20° С 0,1000 М раствором хлорида калия. Сопротивление стало 324,2 Ом. После заполнения ячейки 0,050 н. раствором серной кислоты оно оказалось 1305,5 Ом.

Определить эквивалентную электропроводность раствора серной кислоты.

9. Эквивалентная электропроводность  $1,03 \cdot 10^{-3}$  н. раствора уксусной кислоты при 25° С равна  $48,15 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{г-экв}^{-1} \cdot \text{см}^2$ .

Определить константу диссоциации уксусной кислоты, если электропроводность уксусной кислоты при бесконечном разбавлении равна  $390,6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{г-экв}^{-1}$ .

10. Удельная электропроводность воды при 18°С равна,  $(4,00 \pm 0,05) \cdot 10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Удельная электропроводность насыщенного раствора хлорида серебра в той же воде равна  $(1,37 \pm 0,05) \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$

Рассчитать растворимость хлорида серебра в этих условиях и определить ошибку вычисления.

11. 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	1,50
Удельная электропроводность $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	2,5	3,8	5,0	8,0					

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

12. При титровании 200 мл смеси едкого кали и аммиака 0,2 н. соляной кислотой были получены следующие показания гальванометра высокочастотного титриметра:

Объем, мл	. . .	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	7,5	8,0	8,5	Показания	...
		42	39	29	23	21	14	20	22	23	25	30	44	57		

Построить кривую титрования и определить концентрацию КОН и NH<sub>4</sub>ОН. Определить, сколько 0,1 н. растворов едкого кали и аммиака надо взять для приготовления 200 мл указанного раствора.

14\*. Прибор для измерения электропроводности, заполненный при 18°C 0,1 н. раствором хлорида калия, имеет сопротивление 79 ом, а заполненный 0,105 н. раствором уксусной кислоты—179 ом.

Определить константу диссоциации уксусной кислоты.

Раздел Г

16. Вычислить эквивалентную электропроводность раствора  $\text{AgIO}_3$  при бесконечном разбавлении, если известно значение этой величины для следующих растворов:  $\text{NaIO}_3 \lambda_\infty = 90,1$ ;  $\text{CH}_3\text{COONa} — \Lambda_{\text{д}} = 91,0$ ;  $\text{CH}_3\text{COOAg} — \lambda_\infty = 103,0$ .

17. Удельная электропроводность этиламина  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$  при разбавлении 1 моль в 16 л равна  $1,312 \cdot 10^{-3} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

Определить константу диссоциации этиламина, если подвижность иона  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+$  равна 58,6. Определить точность этого расчета, если удельную электропроводность измеряли с точностью до  $0,002 \cdot 10 \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

18\*. Сопротивление насыщенного раствора хлорида серебра в ячейке 5230  $\pm 0,05$  ом, а воды в тех же условиях 112,00  $\pm 0,05$  ом. Температура опыта 25°C.

Вычислить растворимость и произведение растворимости хлорида серебра, если постоянная ячейки  $0,18 \pm 0,02 \text{ см}^{-1}$ . Рассчитать точность определения и найти величину, дающую наибольшую ошибку.

19. 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 процесс се 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. Найти точность вычисления и источник наибольшей ошибки, если точность измерения объема 0,05 мл, напряжения - 0,02 в и тока 0,1 ма.

### Контрольная работа 3

1\*. Вычислить потенциал алюминиевого электрода в растворе, содержащем 13,35 г хлорида алюминия в 500 мл раствора, относительно водородного и насыщенного каломельного электрода при 30°C.

3 \*. Вычислить потенциал хингидронного электрода в растворе с  $\text{pH} = 5,7$  относительно каломельного электрода (0,1 н. НКЭ) при 18° С.

4. Разность потенциалов между водородным электродом и насыщенным каломельным электродом, погруженным в кислый раствор, составляет 0,435 в при 25° С.

Определить pH раствора.

5'\*. Вычислить потенциал платинового электрода в растворе, содержащем 19,5 г хромата калия и 15 г хлорида хрома в 200 мл, относительно каломельного электрода (0,1 н. НКЭ) при температуре раствора 18° С.

6 \*. К 0,05 н. раствору нитрата свинца добавлено эквивалентное количество иодида калия.

Вычислить потенциал свинцового электрода относительно нормального каломельного электрода, если температура опыта 30° С.

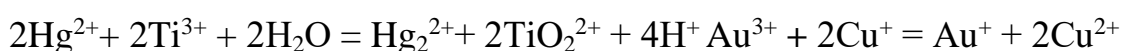
7\*. Э. д. с. цепи  $\text{Ag} | \text{AgNO}_3 |$  каломельный электрод (0,1 н. НКЭ) при 18° С равна 350 мВ.

Определить концентрацию нитрата серебра в растворе (в моль/л).

8\*. На сколько милливольт изменится потенциал водородного электрода относительно каломельного электрода (0,1 н. НКЭ), если к 50 мл 0,1 н. раствора HCl прилить 20 мл 0,2 н. раствора аммиака? Температура опыта 20° С.

9\*. Вычислить потенциал при титровании 0,05 н. раствора фенола 0,1 н. раствором КОН в точке эквивалентности и в точке, когда оттитровано 50% фенола. В качестве индикаторного электрода использовали хингидронный электрод, в качестве электрода сравнения — насыщенный каломельный. Температура опыта 18°C

10\*. Вычислить потенциал при 20° С в точке эквивалентности и величину скачка потенциала на кривой титрования в пределах ±0,1% (до и после точки эквивалентности) для реакций



11 \*. Построить кривую изменения потенциалов при 20° С для осаждения  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  из 1 н. раствора нитрата серебра 1 н. раствором хромата калия, если первоначальный объем раствора нитрата серебра 100 мл,  $\alpha_{\text{ПРА}} \text{Ag}_2\text{CrO}_4 = 9,0 \cdot 10^{-12}$ .

12\*. Построить кривую изменения потенциалов при 20°С в процессе титрования 200 мл 0,1 н. раствора сульфата железа (II) 1 н. раствором бромата калия.

13\*. Вычислить потенциалы в точках эквивалентности и определить, можно ли потенциометрически разделить оттитровать компоненты смеси  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  —  $\text{MnO}_4^-$  раствором соли сульфата железа(II) и смеси I + Юз" раствором соли серебра.

15. Изменение потенциала хлорсеребряного электрода при концентрации хлоридов 100, 150 и 200 *мкг/л* составило соответственно 3,0; 4,2 и 5,8 *мв*.

Определить концентрацию хлоридов, если изменение потенциала электрода составляет 6,2 *мв*.

16\*. Вычислить потенциал медного электрода в растворе, содержащем 24,2 г кристаллогидрата нитрата меди  $\text{Cu}(\text{Ж})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в 150 мл раствора, относительно 0,1 н. хлор-серебряного электрода при 20°С.

17\*. Вычислить потенциал цинкового электрода в растворе, содержащем 0,680 г хлорида цинка и 0,805 г кристаллогидрата сульфата цинка в объеме 500 мл относительно каломельного электрода (0,1 н. НКЭ) при 20° С.

18\*. На 100-Сантиметровом потенциометрическом мостике при 30° С отсчет для нормального элемента Вестона равен 52,8 *см*, отсчет для хингидронного электрода относительно каломельного полуэлемента (0,1 н. НКЭ) равен 12,35 *см*.

Определить рН раствора.

19. Потенциал платинового электрода относительно каломельного полуэлемента (1 н. НКЭ) при 20° С в растворе смеси  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  равен 0,215 *в*.

Сколько 0,05 н. раствора КЮз надо прилить к этому раствору, чтобы потенциал увеличился на 100 мв, если первоначальный объем 0,2 н. раствора FeCb в смеси был 100 мл?

20\*. Сколько 0,1 н. раствора NaOH надо прилить к 100 мл 0,05 н. раствора сульфата никеля, чтобы потенциал никелевого электрода в этом растворе при 20° С изменился на 20 мв?

21 \*\*. При потенциометрическом титровании «одноименным» раствором (методом добавок) к 50 мл раствора HCl добавили 2,5 мл 0,01 н. раствора HCl. Величина потенциала хингидронного электрода при этом увеличилась с 200 до 259,1 мв при 25° С.

Определить нормальность соляной кислоты.

22\*\*. При потенциометрическом титровании к 20 мл раствора едкого натра добавили 20 мл 0,01 н. соляной кислоты; потенциал водородного электрода оказался 247 мв.

При последующем добавлении 0,8 мл 0,01 н. соляной кислоты потенциал снизился до 228 мв.

Определить нормальность исследуемого раствора едкого натра.

23\*. Вычислить концентрацию ионов серебра над осадком и объем избытка 0,1 н. раствора хлорида калия, если при титровании 100 мл 0,1 н. раствора нитрата серебра потенциал серебряного электрода относительно водородного электрода стал 0,418 в при 20° С. Изменение объема раствора не учитывать.

24\*. Построить кривую титрования хлорида иодида 0,1 н. раствором нитрата серебра при 20° С, если раствор приготовлен из навески образца 5,6750 г, содержащего 50% хлорид-ионов и 25% иодид-ионов. Начальный объем раствора 50 мл.

25\*. Построить дифференциальную кривую потенциометрического титрования 50 мл 0,1 н. раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,1 н. раствором  $\text{KBrO}_3$  при 20° С.

26. В навеске 2,5 г стали хром окислен до хромовой кислоты, а потом оттитрован 0,103 н. раствором сульфата железа (II).

Вычислить содержание хрома в стали (в %) по результатам титрования:

<i>U, мВ.</i>	0	5	10	20	30	35	36	37
<i>E, в</i>	0,650		0,700	0,800	0,820	0,860	0,879	0,885 0,887
<i>V,</i>	37,5		38	38,3	38,4	39	43	45
<i>E, в . .</i>	0,887		0,885	0,884	0,505	0,495	0,480	0,470

### Программа 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. Высокочастотное кондуктометрическое титрование. Диэлкометрия.

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. Вольтамперометрия, 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 ультрамикрорезультатами 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 ультрамикрорезультатами.

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 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).

17. Электрохимические детекторы (ЭХД) в проточных методах анализа. ЭХД для жидкостной хроматографии (амперометрические, потенциометрические, кондуктометрические и кулонометрические детекторы). ЭХД для проточно-инжекционного анализа. ЭХД для капиллярного зонного электрофореза.

### **VII. Материально-техническое обеспечение**

Иономеры, рН-метры

Электрохимические ячейки

Электроды сравнения, индикаторные электроды

Потенциостат

Магнитные мешалки

Химическая посуда и реактивы

Компьютер и ПО для обработки результатов

### **VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины**

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			