

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 28.09.2023 14:38:53  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

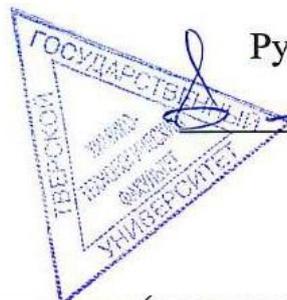
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Феофанова М.А.

27 июня 2023 г



Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

## Кулонометрия и вольтамперометрия

Специальность

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Направленность (профиль)

Химия функциональных материалов

Для студентов 5 курса очной формы обучения

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

Тверь, 2023

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины:**

*Цель* дисциплины: подготовка специалистов, владеющих теоретическими основами и практическими приемами кулонометрии и вольтамперометрии.

Кулонометрические и вольтамперометрические методы анализа благодаря высокой прецизионности возможности автоматизации процесса определения, как основного компонента веществ, так и примесей в них, часто без предварительного отделения, завоевал широкое признание. Практическое развитие кулонометрии, особенно при контролируемом потенциале рабочего электрода началось в начале 50-х годов после создания соответствующих приборов для автоматического поддержания и контроля потенциала рабочего электрода. В последние годы развитие теории и практики метода, появление отечественных гальваностатов (амперостатов) и потенциостатов значительно способствовало внедрению кулонометрического и вольтамперометрического методов исследования и анализа в основном в научно-исследовательских лабораториях. Однако данные методы еще недостаточно используют в аналитической практике заводских лабораторий при стандартизации реактивов и контроле промежуточных и конечных продуктов производств. Вольтамперометрия по широте своих возможностей является, по-видимому, уникальным физико-химическим методом исследования, используемым практически во всех областях химии, в биологии, медицине, минералогии, металлургии и многих других отраслях промышленности. Сравнительная простота метода, чувствительность и избирательность делают его одним из наиболее удобных, а иногда и единственно возможным. Вольтамперометрия наряду с ее применением для качественного и количественного анализа успешно используется для решения многих других задач теоретической и прикладной химии: определения структуры и оценки реакционной способности некоторых соединений, наблюдения с автоматической регистрацией кривых за протеканием реакций, оценки молекулярной массы полимеров и др.

*Задачи* освоения дисциплины: подготовка студентов, умеющими реализовать возможности, заложенные в аппаратуру для проведения кулонометрии и вольтамперометрии путем разработки новых методик и реализации описанных методов, а также владеющими свободной эксплуатацией основных приборов для выполнения этих анализов, обычно имеющихся в химических лабораториях (кулонометры, потенциостаты, и т.д.)

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

Дисциплина «Кулонометрия и вольтамперометрия» входит в Элективные дисциплины 8 Части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1. «Дисциплины» учебного плана.

Дисциплина закладывает знания для подготовки выпускной работы, производственной практики. Дисциплина непосредственно связана с дисциплинами «Неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Физическая химия», «Физика». Этот метод с успехом применяются не только

в химии и биологии, но и во многих других областях науки и техники и технологии.

**3. Объем дисциплины: 9 зачетных единиц, 324 академических часа, в том числе:**

**контактная аудиторная работа:** лекции **26** часов, лабораторные работы **52** часа;

**контактная внеаудиторная работа:** контроль самостоятельной работы **90** часов;

**самостоятельная работа:** **129** часов, контроль **27** часов.

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

| <b>Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)</b>   | <b>Планируемые результаты обучения по дисциплине</b>  |
|--|---|
| ПК-1<br>Способен выбирать и использовать технические средства и методы испытаний для решения исследовательских задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации | ПК-1.1 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР<br><br>ПК-1.2 Выбирает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач НИР<br><br>ПК-1.3 Готовит объекты исследования          |
| ПК-2<br>Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы   | ПК-2.1 Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в т.ч., с использованием патентных баз данных)<br><br>ПК-2.2 Анализирует и обобщает результаты патентного поиска по тематике проекта в выбранной области химии (химической технологии) |

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

экзамен в 9-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.) |                                    | Контроль самостоятельной работы | Самостоятельная работа (час.) | Контроль  |
|---|--------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------|
|   |              | Лекции                   | Практические (лабораторные) работы |                                 |                               |           |
| 1<br>Электрогравиметрический анализ, законы Фарадея. Определение меди, серебра и других металлов этим методом.            | 36           | 2                        |                                    | 10                              | 20                            | 4         |
| 2.<br>Кулонометрический анализ, теория, аппаратура. Кулонометрический анализ при постоянном потенциале и постоянном токе. | 110          | 12                       | 20                                 | 30                              | 40                            | 8         |
| 3. Косвенная кулонометрия (кулонометрическое титрование)  | 92           | 6                        | 20                                 | 30                              | 29                            | 7         |
| 4.<br>Вольтамперометрия.  | 50           | 4                        | 12                                 | 10                              | 20                            | 4         |
| 5<br>Инверсионная вольтамперометрия   | 36           | 2                        |                                    | 10                              | 20                            | 4         |
| <b>Итого</b>  | <b>324</b>   | <b>26</b>                | <b>52</b>                          | <b>90</b>                       | <b>129</b>                    | <b>27</b> |

**III. Образовательные технологии**

| Учебная программа –<br>наименование разделов и<br>тем (в строгом<br>соответствии с разделом<br>II РПД)                             | Вид занятия   | Образовательные технологии  |
|--|---|---|
| 1<br>Электрогравиметрический<br>анализ, законы Фарадея.<br>Определение меди, серебра<br>и других металлов этим<br>методом.         | Лекция,<br>лабораторная работа в<br>химической<br>лаборатории | Лекция, дискуссия,<br>активизация творческой<br>деятельности  |
| 2. Кулонометрический<br>анализ, теория, аппаратура.<br>Кулонометрический анализ<br>при постоянном потенциале<br>и постоянном токе. | Лекция,<br>лабораторная работа в<br>химической<br>лаборатории | Лекция, дискуссия,<br>активизация творческой<br>деятельности, метод малых<br>групп, подготовка и<br>реализация лабораторных<br>работ и интерпретация<br>результатов |
| 3. Косвенная кулонометрия<br>(кулонометрическое<br>титрование)   | Лекция,<br>лабораторная работа в<br>химической<br>лаборатории |   |
| 4. Вольтамперометрия.  | Лекция,<br>лабораторная работа в<br>химической<br>лаборатории | Лекция, дискуссия,<br>активизация творческой<br>деятельности, метод малых<br>групп, подготовка и<br>реализация лабораторных<br>работ и интерпретация<br>результатов |
| 5 Инверсионная<br>вольтамперометрия  |   |   |

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

ПК-1 Способен выбирать и использовать технические средства и методы испытаний для решения исследовательских задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации

(код, наименование компетенции)

| Номер задания                 | Правильный ответ (ключ) | Содержание вопроса/задания | Критерии оценивания заданий |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| <b>Задания закрытого типа</b> |                         |                            |                             |

|   |  |  |                            |
|---|--|--|----------------------------|
| 1 | А  | <p>Какой знак имеет ЭДС электролитической ячейки в кулонометрии?</p> <p>а) ЭДС &lt; 0;</p> <p>б) ЭДС = 0;</p> <p>в) ЭДС &gt; 0;</p> <p>г) ЭДС ≥ 0.</p> | 1 балл за правильный ответ |
| 2 | <p>Количество электричества (Q) – это электрический заряд, который протекает за определенное время (t) через поперечное сечение проводника при заданной силе тока (I). При постоянной силе тока количество электричества рассчитывается по формуле <math>Q = I \cdot t</math>. При изменении тока во времени расчет проводится по формуле:</p> $Q = \int_{t_1}^{t_2} i(t) \cdot dt.$ | <p><b>Что означает понятие «количество электричества». Как рассчитывается эта величина?</b></p>  | 1 балл за правильный ответ |
| 3 | <p>Формула объединенного закона электролиза:</p> $m(X) = \frac{Q \cdot M(X)}{z \cdot F}$ <p>где m (X) – масса электропревращенного вещества X, г;<br/>Q – количество электричества, затраченного на электролиз, Кл;</p>  | <p><b>Напишите формулу объединенного закона Фарадея для расчета массы электропревращенного вещества.</b></p>   | 1 балл за правильный ответ |

|                               |  |   |         |
|-------------------------------|--|---|---------|
|                               | <p><math>F</math> – число Фарадея,<br/> <math>Kл/мольэ</math>;<br/> <math>M(X)</math> – молярная масса вещества <math>X</math>,<br/> <math>г/моль</math>;<br/> <math>Z</math> – число эквивалентности.</p>                             |   |         |
| 4                             | <p>Методы вольтамперометрии основаны на изучении зависимости силы тока от напряжения поляризации микроэлектрода, на поверхности которого протекает электролиз анализируемого вещества или одного из компонентов титруемой системы.</p> | <p><b>На чем основаны методы вольтамперометрии?</b></p>   |         |
| 5                             | <p>В</p>   | <p><b>Как поляризуются электроды вольтамперометрической ячейки?</b><br/> а) рабочий электрод и электрод сравнения практически не поляризуются;<br/> б) происходит кинетическая и концентрационная поляризация рабочего электрода;<br/> в) происходит концентрационная поляризация только рабочего электрода;<br/> г) поляризуются оба электрода (рабочий и электрод сравнения).</p> |         |
| <b>Задания открытого типа</b> |  |   |         |
| 6                             | <p>Содержание меди в алюминиевых сплавах определяют кулонометрическим титрованием, которое проводят электрогенерируемым оловом (II) из олова (IV):</p>   |   | 3 балла |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | $\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}$ $\text{Sn}^{2+} + 2\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+} + 2\text{Cu}^+$ <p>Какова относительная ошибка этого метода, если при анализе 1,2 г сплава, содержащего 1,5% меди, сила тока составляла 88 мА, а эквивалентная точка была достигнута через 5 мин?</p>  |   |
|   | <p>Правильный ответ (ключ):</p> <p><b>1. Найдем массу меди, исходя из количества пропущенного электричества</b></p> $Q = It = 0,088(\text{А}) \cdot 5(\text{мин}) \cdot 60(\text{с}) = 26,4 (\text{Кл})$ $m_{\text{Cu}} = k_{\text{э}}Q = \frac{26,4(\text{Кл}) \cdot 63,54 (\text{г} \cdot \text{моль}^{-1})}{96500 (\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1})} = 0,0174 (\text{г})$ <p><b>2. Найдем массу меди, содержащейся в сплаве</b></p> $m_{\text{Cu}} = \frac{1,5\% \cdot 1,2(\text{г})}{100\%} = 0,018 (\text{г})$ <p><b>3. Относительная ошибка метода</b></p> $\varepsilon = \cdot (0,018 - 0,0174 / 0,018) 100\% \text{ будет равна } 3,3 \%$ <p><b>Ответ: <math>\varepsilon = 3,3 \%</math></b></p>                         | <p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>Итого: 3 балла</p> |
| 7 | <p>Электролиз раствора <math>\text{AgNO}_3</math> с серебряным анодом продолжался 2 часа. Ток в цепи за это время изменяли по закону <math>I = 1/(a + t)</math>, где <math>t</math> – время (ч), <math>a</math> – константа. Вычислить, на сколько уменьшилась масса анода за время электролиза, если скорость растворения анода в конце электролиза равна <math>4,48 \cdot 10^{-4}</math> г/с.</p>   |   |
|   | <p>Правильный ответ (ключ):</p> <p><b>1. Найдем константу <math>a</math> из конечной скорости растворения:</b></p> $v_{t=2} = \frac{I}{zF} = \frac{1/(a+2)}{zF} = 4,48 \cdot 10^{-4} (\text{г} \cdot \text{с}^{-1})$ $I_{t=2} = v z F = \frac{4,48 \cdot 10^{-4} (\text{г} \cdot \text{с}^{-1})}{107,868 (\text{г} \cdot \text{моль}^{-1})} \cdot 1 \cdot 96500 (\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1}) = 0,401$ $a = \frac{1}{I_{t=2}} - 2(\text{ч}) = 0,495$ <p><b>2. Найдем количество электричества, прошедшего через раствор за 2 часа</b></p> $Q = \int_0^2 I dt = \ln(t+a) \Big _0^2 = \ln(2+0,495) - \ln(0,495) = 1,618 (\text{А} \cdot \text{ч}) = 5823,57 (\text{Кл})$ <p><b>3. Найдем массу растворившегося серебра</b></p> | <p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>1 балл</p>                       |

|   |  |   |      |      |      |      |      |       |      |      |        |      |      |    |    |    |    |    |    |  |
|---|--|---|------|------|------|------|------|-------|------|------|--------|------|------|----|----|----|----|----|----|--|
| $m_{Ag} = \frac{Q \cdot M}{zF} = \frac{5823,57(\text{Кл}) \cdot 107,868(\text{г} \cdot \text{моль}^{-1})}{96500(\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1})} = 6,52 (\text{г})$   |  |   |      |      |      |      |      |       |      |      |        |      |      |    |    |    |    |    |    |  |
| Ответ: $m_{Ag} = 6,52 (\text{г})$   |  | Итого: 3 балла                                      |      |      |      |      |      |       |      |      |        |      |      |    |    |    |    |    |    |  |
| 8   | Раствор, содержащий 10 моль/м <sup>3</sup> Sn <sup>4+</sup> и 30 моль/м <sup>3</sup> Sn <sup>2+</sup> , изучали вольтамперометрически, используя в качестве индифферентного электролита KCl. Каковы будут параметры полной вольтамперометрической кривой, которую можно получить на идеально инертном индикаторном электроде (относит. насыщ. КЭ), допуская, что коэффициенты диффузии ионов Sn <sup>4+</sup> и Sn <sup>2+</sup> равны между собой, если сила наблюдаемого предельного катодного тока равна 16,3 мкА.  |   |      |      |      |      |      |       |      |      |        |      |      |    |    |    |    |    |    |  |
| Правильный ответ (ключ):<br>1. Потенциал полуволны равен стандартному потенциалу, если коэффициенты диффузии равны. Исходя из уравнения Нернста, получаем $E = E_0 - 2,3RT / 2F (\lg 0,03/0,01)$<br>2. Точка пересечения волны и нулевой линии имеет потенциал 0,139 - 0,014 = 0,125 В относительно насыщ. КЭ.<br>3. Сила анодного диффузионно-ограниченного тока втрое больше, чем катодного, и равна 48,9 мкА.  |  | 1 балл<br>1 балл<br>1 балл                          |      |      |      |      |      |       |      |      |        |      |      |    |    |    |    |    |    |  |
| Ответ: 48,9 мкА   |  | Итого: 3 балла                                      |      |      |      |      |      |       |      |      |        |      |      |    |    |    |    |    |    |  |
| 9   | При полярографировании стандартных растворов соли цинка определено:<br><table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>CZn<sup>2+</sup>, %</td> <td>0,10</td> <td>0,20</td> <td>0,30</td> <td>0,40</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>h, мм</td> <td>8,0</td> <td>14,0</td> <td>22,0</td> <td>28,0</td> <td>37,0</td> </tr> </table> Вычислите содержание цинка в анализируемом растворе методом калибровочного графика, если высота полярографической волны (h) раствора 25,0 мм   | 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 |    |    |    |    |    |    |  |
| 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 |      |      |       |      |      |        |      |      |    |    |    |    |    |    |  |
| Правильный ответ (ключ):<br>Строим график зависимости высоты полярографической волны h от содержания цинка (%). По графику находим содержание цинка, которое составляет 0,35 %<br>Ответ: 0,35%.   |  | 1 балл<br>Итого: 1 балл                             |      |      |      |      |      |       |      |      |        |      |      |    |    |    |    |    |    |  |
| 10  | 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:<br><table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>VK<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, 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> <td>0,70</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>I, мкА</td> <td>120</td> <td>80</td> <td>60</td> <td>40</td> <td>20</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> </tr> </table> | 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 |  |
| 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    |      |      |        |      |      |    |    |    |    |    |    |  |
| Правильный ответ (ключ):<br>1. Находим точку эквивалентности по графику амперометрического титрования.<br>2. Объем раствора K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> в точке эквивалентности 0,55 мл.<br>3. Рассчитываем содержание Fe <sup>2+</sup> в анализируемой навеске исследуемого вещества:<br>$m_{Fe^{2+}} = V_{K_2Cr_2O_7} \cdot T_{K_2Cr_2O_7/Fe^{2+}} = 0,55 \cdot 2,8 \cdot 10^{-4} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ г.}$<br>Ответ: 1,54 · 10 <sup>-4</sup> г. |  | 1 балл<br>1 балл<br>1 балл<br>Итого: 3 балла        |      |      |      |      |      |       |      |      |        |      |      |    |    |    |    |    |    |  |

**ПК-2 Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы**

| Номер задания                 | Правильный ответ (ключ)   | Содержание вопроса/задания  | Критерии оценивания заданий |
|-------------------------------|---|---|-----------------------------|
| <b>Задания закрытого типа</b> |   |   |                             |
| 1                             | 100 %-ный выход по току означает, что при проведении кулонометрических измерений практически все количество электричества расходуется на электролиз определяемого вещества и побочные электрохимические реакции отсутствуют | Что означает 100 % - ный выход по току?   | 1 балл за правильный ответ  |
| 2                             | Сосуд с электродами для кулонометрических измерений называется электролитической ячейкой  | <b>Как называется электрохимическая ячейка, используемая в кулонометрическом анализе?</b>   | 1 балл за правильный ответ  |
| 3                             | В   | <b>Какой способ определения количества электричества нельзя использовать в методе прямой потенциостатической кулонометрии?</b><br><b>а) расчет количества электричества на основе графической зависимости <math>I_{гI}</math> от <math>t</math>;</b><br><b>б) определение количества электричества с помощью кулонометра;</b><br><b>в) расчет количества электричества по формуле <math>Q = I \cdot t</math>;</b> | 1 балл за правильный ответ  |

|   |  | г) определение количества электричества планометрическим методом.  |                            |
|---|--|--|----------------------------|
| 4 | <p>За счет небольшой площади микроэлектрода плотность тока на его поверхности значительно выше, чем у обычного электрода. Он легко поляризуется и выполняет роль рабочего электрода, на котором протекает электролиз анализируемого вещества. Электрод с большой поверхностью практически не поляризуется. Его потенциал остается постоянным на уровне равновесного значения. Такой электрод используется как электрод сравнения, и вольтамперограмма отражает изменение электрических параметров системы, обусловленное процессом электрохимического превращения на рабочем</p> | <p><b>Почему в вольтамперометрии площадь электрода сравнения многократно превышает площадь рабочего электрода?</b></p> | 1 балл за правильный ответ |

|   |   |   |                            |
|---|---|---|----------------------------|
|   | микроэлектроде  |   |                            |
| 5   | В   | <p><b>Как поляризуются электроды вольтамперометрической ячейки?</b></p> <p>а) рабочий электрод и электрод сравнения практически не поляризуются;</p> <p>б) происходит кинетическая и концентрационная поляризация рабочего электрода;</p> <p>в) происходит концентрационная поляризация только рабочего электрода;</p> <p>г) поляризуются оба электрода (рабочий и электрод сравнения).</p> | 1 балл за правильный ответ |
| <b>Задания открытого типа</b>   |   |   |                            |
| 6   | Содержание меди в алюминиевых сплавах определяют кулонометрическим титрованием, которое проводят электрогенерируемым оловом (II) из олова (IV): | $\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}$ $\text{Sn}^{2+} + 2\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+} + 2\text{Cu}^+$ <p>Какова относительная ошибка этого метода, если при анализе 1,2 г сплава, содержащего 1,5% меди, сила тока составляла 88 мА, а эквивалентная точка была достигнута через 5 мин?</p>  | 3 балла                    |
| Правильный ответ (ключ):  |   |   |                            |
| <p><b>1. Найдем массу меди, исходя из количества пропущенного электричества</b></p> $Q = It = 0,088(\text{А}) \cdot 5(\text{мин}) \cdot 60(\text{с}) = 26,4 (\text{Кл})$ $m_{\text{Cu}} = k_{\text{э}}Q = \frac{26,4(\text{Кл}) \cdot 63,54 (\text{г} \cdot \text{моль}^{-1})}{96500 (\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1})} = 0,0174 (\text{г})$ |   | 1 балл  |                            |
| <p><b>2. Найдем массу меди, содержащейся в сплаве</b></p> $m_{\text{Cu}} = \frac{1,5\% \cdot 1,2(\text{г})}{100\%} = 0,018 (\text{г})$  |   | 1 балл  |                            |
| <p><b>3. Относительная ошибка метода</b></p> $\varepsilon = \cdot (0,018 - 0,0174 / 0,018) 100\% \text{ будет равна } 3,3 \%$   |   | 1 балл  |                            |
| <b>Ответ: <math>\varepsilon = 3,3 \%</math></b>   |   |   | Итого: 3 балла             |
| 7   | Электролиз раствора AgNO <sub>3</sub> с серебряным анодом продол-   |   |                            |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | <p>жался 2 часа. Ток в цепи за это время изменяли по закону <math>I = 1/(a + t)</math>, где <math>t</math> – время (ч), <math>a</math> – константа. Вычислить, на сколько уменьшилась масса анода за время электролиза, если скорость растворения анода в конце электролиза равна <math>4,48 \cdot 10^{-4}</math> г/с.</p>  |   |
| <p>Правильный ответ (ключ):</p> <p>1. Найдем константу <math>a</math> из конечной скорости растворения:</p> $v_{t=2} = \frac{I}{zF} = \frac{1/(a + 2)}{zF} = 4,48 \cdot 10^{-4} (\text{г} \cdot \text{с}^{-1})$ $I_{t=2} = v z F = \frac{4,48 \cdot 10^{-4} (\text{г} \cdot \text{с}^{-1})}{107,868 (\text{г} \cdot \text{моль}^{-1})} \cdot 1 \cdot 96500 (\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1}) = 0,401$ $a = \frac{1}{I_{t=2}} - 2(\text{ч}) = 0,495$ <p>2. Найдем количество электричества, прошедшего через раствор за 2 часа</p> $Q = \int_0^2 I dt = \ln(t + a) \Big _0^2 = \ln(2 + 0,495) - \ln(0,495) = 1,618 (\text{А} \cdot \text{ч}) = 5823,57 (\text{Кл})$ <p>3. Найдем массу растворившегося серебра</p> $m_{\text{Ag}} = \frac{Q \cdot M}{zF} = \frac{5823,57 (\text{Кл}) \cdot 107,868 (\text{г} \cdot \text{моль}^{-1})}{96500 (\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1})} = 6,52 (\text{г})$ <p>Ответ: <math>m_{\text{Ag}} = 6,52 (\text{г})</math></p> |   | <p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>Итого: 3 балла</p> |
| 8   | <p>Раствор, содержащий 10 моль/м<sup>3</sup> Sn<sup>4+</sup> и 30 моль/м<sup>3</sup> Sn<sup>2+</sup>, изучали вольтамперометрически, используя в качестве индифферентного электролита KCl. Каковы будут параметры полной вольтамперометрической кривой, которую можно получить на идеально инертном индикаторном электроде (относит. насыщ. КЭ), допуская, что коэффициенты диффузии ионов Sn<sup>4+</sup> и Sn<sup>2+</sup> равны между собой, если сила наблюдаемого предельного катодного тока равна 16,3 мкА.</p> |   |
| <p>Правильный ответ (ключ):</p> <p>1. Потенциал полуволны равен стандартному потенциалу, если коэффициенты диффузии равны. Исходя из уравнения Нернста, получаем <math>E = E_0 - 2,3RT / 2F (\lg 0,03/0,01)</math></p> <p>2. Точка пересечения волны и нулевой линии имеет потенциал <math>0,139 - 0,014 = 0,125</math> В относительно насыщ. КЭ.</p> <p>3. Сила анодного диффузионно-ограниченного тока втрое больше, чем катодного, и равна 48,9 мкА.</p> <p>Ответ: 48,9 мкА</p>  |   | <p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>1 балл</p> <p>Итого: 3 балла</p> |
| 9   | <p>При полярографировании стандартных растворов соли цинка определено:</p> <p>CZn<sup>2+</sup>, %      0,10    0,20    0,30    0,40    0,50</p>   |   |

|    |   |  |
|----|---|--|
|    | h, мм            8,0    14,0   22,0   28,0   37,0<br>Вычислите содержание цинка в анализируемом растворе методом калибровочного графика, если высота полярографической волны (h) раствора 25,0 мм.  |  |
|    | Правильный ответ (ключ):<br>Строим график зависимости высоты полярографической волны h от содержания цинка (%). По графику находим содержание цинка, которое составляет 0,35 %<br>Ответ: 0,35%.   | 1 балл<br><br>Итого: 1 балл                          |
| 10 | 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:<br>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<br>0,70   0,80<br>I, мкА                120    80    60    40    20    10    10 |  |
|    | Правильный ответ (ключ):<br>1. Находим точку эквивалентности по графику амперометрического титрования.<br>2. Объем раствора K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> в точке эквивалентности 0,55 мл.<br>3. Рассчитываем содержание Fe <sup>2+</sup> в анализируемой навеске исследуемого вещества:<br>$m_{Fe^{2+}} = VK_2Cr_2O_7 \cdot TK_2Cr_2O_7/Fe^{2+} = 0,55 \cdot 2,8 \cdot 10^{-4} = 1,54 \cdot 10^{-4}$ г.<br>Ответ: 1,54 · 10 <sup>-4</sup> г.                         | 1 балл<br><br>1 балл<br>1 балл<br><br>Итого: 3 балла |

## V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) Основная литература:

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: <http://www.iprbookshop.ru/14357.html>

### б) Дополнительная литература:

1. Аналитическая химия: Учебник / Мовчан Наталья Ивановна [и др.]. - 1. - Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2017. - 394 с. –  
Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=770791>

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

1. <http://www.xumuk.ru/>
  2. <http://nehudlit.ru/books/subcat283.html>
  3. [http://www.krugosvet.ru/enc/nauka\\_i\\_tehnika/himiya/BIOHIMIYA.html](http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/himiya/BIOHIMIYA.html)
  4. <http://elibrary.ru/>
  5. <http://www.medbook.net.ru/23.shtml>
- <http://www.chem.msu.su/rus/teaching/kolman/index.htm>

## VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

### Программа дисциплины

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. Аппаратурные методы вольтамперометрии. Постояннотоковая полярография. Хроноамперометрия. Нормальная импульсная полярография. Дифференциальная импульсная полярография. Вольтамперометрия переменного тока. Переменно-токовая полярография с прямо-угольным поляризующим напряжением. Хроновольтамперометрия. Хронопотенциометрия. Вольтамперометрия с электродами других типов. Вращающиеся дисковые электроды (с кольцом и без кольца). Вольтамперометрия с ультрамикрoэлектродами и на границе раздела двух несмешивающихся жидких фаз. Инверсионная вольтамперометрия (ИВА).

Электрохимическое концентрирование определяемых элементов. ИВА малорастворимых соединений. Адсорбционное концентрирование. ИВА в анализе твердых веществ. ИВА с ультрамикрoэлектродами.

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. 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.

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.

Кулонометрия и кулонометрическое титрование. Прямая

потенциостатическая кулонометрия. Кулонометрия при

контролируемой силе тока. Электрогенерирование

кулонометрических титрантов в неводных средах.

Кулонометрическое определение неорганических и органических соединений.

Электрогравиметрия. Электрохимическое разделение

металлов. Внутренний электролиз. Электрохимические

сенсоры (амперометрические, потенциометрические,

кондуктометрические и кулонометрические сенсоры).

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.

### Вопросы для самоподготовки

#### «Вольтамперометрический 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.

2. Титруемый ион и титр ант 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.

2. 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.

2. 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.

2. 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.

2. 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.

### Контрольные задания

#### Вариант 1

1. Определить, за какое время при электролизе раствора  $\text{FeCl}_3$  выделится 0,1 г железа, если ток равен 4 А. Сколько кислорода  $\hat{}$ (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 электрохимическим 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  $PbO_2$  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. 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?
6. 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 %).
7. Какое количество цианидного комплекса меди необходимо, чтобы покрыть поверхность 300  $cm^2$  слоем меди толщиной 0,5 мм и сколько времени будет продолжаться электролиз при токе 5 А?
8. При кулонометрическом определении пикриновой кислоты  $C_6H_2(OH)(NO_2)_3$  на титрование выделившегося в кулонометре иода потребовалось 11,5 мл 0,01 н. раствора тиосульфата натрия. Определить содержание пикриновой кислоты в растворе, если в восстановлении ее принимает участие 18 электронов.
9. Соляная кислота кулонометрически титруется электрогенерируемыми ионами  $OH^-$  при постоянном токе 10 мА. Точка эквивалентности при титровании 5 мл исследуемого раствора достигается за 3 мин 10 сек. Рассчитать титр исследуемого раствора HCl по NaOH.
- Вариант 2
10. Из раствора соли серебра полностью выделяется серебро при электролизе в течение 30 мин, если ток равен 3 А. Какой ток необходим, чтобы исходная концентрация раствора уменьшилась вдвое в течение 10 мин?
11. 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?
12. При получении амальгамы кадмия методом электролиза через раствор соли кадмия пропускали ток 0,5 А в течение 4 мин. Рассчитать содержание кадмия в амальгаме (в %), если для ее получения в качестве катода было взято 15 г ртути.
13. 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?

14. Медь, содержащую примеси висмута, выделяют электролизом из 1 М раствора сульфата меди. Рассчитать, сколько меди должно остаться в растворе, чтобы не началось осаждение висмута.
15. 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. Вычислить среднее значение нормальности соляной кислоты и ошибку, определения S, если объем одной капли равен 0,025 мл.
16. При кулонометрическом определении кобальта в 1,5 г металла в серебряном кулонометре выделилось 0,0755 г серебра. Определить содержание кобальта (в %) в металле. Сколько времени потребуется для электролитического выделения 0,80 г кобальта из раствора при токе 250 мА?

Вариант 3

17. При кулонометрическом титровании электролитически генерируемыми 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 привес 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 тетрагидрофуране два образца тетрагидрофурана по 0,05 г параллельно титруют генерируемым бромом при следующих условиях:
- | Образец    | Ток, мА | 10  | 13   | 18  | 25   | 35   | 40 |
|------------|---------|-----|------|-----|------|------|----|
| I образец  | 168     | 126 | 91,5 | 115 | 83,5 | 70,5 |    |
| II образец |         |     |      |     |      |      |    |
- 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.

### Программа итогового экзамена

- 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.
- Аппаратурные методы вольтамперометрии. Постоянноточковая полярография. Хроноамперометрия. Нормальная импульсная полярография. Дифференциальная

импульсная полярография. Вольтамперометрия переменного тока. Переменно-токовая полярография с прямо-угольным поляризующим напряжением. Хроновольтамперометрия. Хронопотенциометрия.

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

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

5. 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.

6. 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.

7. 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.

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

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

11. 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.

### **Перечень лабораторных работ**

1. Электрогравиметрическое определение содержания меди в модельной смеси.
2. Определение содержания свинца методом потенциостатической кулонометрии.
3. Определение содержания меди и свинца при совместном присутствии методом потенциостатической кулонометрии.
  
4. Определение содержания HCl в модельной смеси методом кулонометрического титрования
5. Титрование электрогенерированным йодом
6. Определение содержания серебра в модельной смеси методом вольтамперометрии с применением вращающегося дискового электрода
7. Определение содержания серебра в модельной смеси методом инверсионной вольтамперометрии
8. Вольтамперометрическое титрование для определения содержания цинка в растворе
9. Электросинтез полианилина методом циклической вольтамперометрии

### **Требования к рейтинг-контролю**

•

#### Лабораторная работа №1

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

#### Лабораторная работа №2

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

#### Лабораторная работа №3

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

#### Лабораторная работа №4

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

Лабораторная работа №5

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

**Первая контрольная точка**

..... **30 баллов**

Лабораторная работа №6

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Лабораторная работа №7

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **3 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **1 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Лабораторная работа №8

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **4 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **3 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**1 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

Премияльные баллы за качество и творческий подход при выполнении лабораторной работы – **1 балл**

Лабораторная работа №9

Выполнение практической (экспериментальной) задачи – **4 балла**

Объяснение теоретических основ данной работы – **2 балла**

Собеседование по одному из заданий для самостоятельной работы -**2 балл**

Решение задачи на тему данной лабораторной работы – **1 балл**

Премияльные баллы за качество и творческий подход при выполнении лабораторной работы – **1 балл**

**Вторая контрольная точка**

..... **30 баллов**

**Экзамен** – итоговое тестирование по теме ..... **40 баллов**

**Итого** ..... **100 баллов**

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

1. Химические реактивы и химическая посуда.
2. Электрохимические ячейки
3. Электроды сравнения, индикаторные электроды
4. Потенциостат
5. Магнитные мешалки
6. 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.    | Раздел I Аннотация.  | Измены часы лекций и практических занятий согласно учебному плану на 2021-2022 уч. год | Протокол №11 от 28.04.21г. заседания ученого совета химико-технологического факультета |
| 2.    | Раздел V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины              | Дополнен список основной и дополнительной литературы                                   | Протокол №11 от 28.04.21г. заседания ученого совета химико-технологического факультета |
| 3.    | Раздел IV<br>Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации | Разработаны фонды оценочных средств по каждой компетенции                              | Протокол №1 от 31.08.22г. заседания ученого совета химико-технологического факультета  |