

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кубанский государственный университет»  
Факультет химии и высоких технологий



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
и инновациям

Е.В. Строганова

*май* 2020

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Б1.В.ДВ.2.1 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В МЕМБРАННОЙ ЭЛЕКТРОХИМИИ**

Направление подготовки  
**04.06.01 Химические науки**

Направленность (профиль) программы  
**02.00.05 Электрохимия**

Квалификация выпускника:  
**Исследователь. Преподаватель-Исследователь**

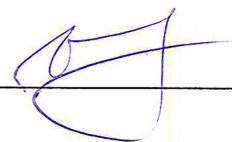
Форма обучения  
**очная, заочная**

Краснодар 2020

Рабочая программа дисциплины Б1.В.ДВ.2.1 «Современные методы исследования в мембранной электрохимии» составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования, утвержденным приказом Минобрнауки России от 30.07.2014 № 869 по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (уровень подготовки кадров высшей квалификации) и учебным планом основной образовательной программы по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки, профиль 02.00.05 Электрохимия.

Программу составили

профессор кафедры  
физической химии, д-р хим. наук, доцент Шельдешов Н.В.



Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физической химии  
«15» мая 2020 г. протокол № 10.

Заведующий кафедрой физической химии  
д-р хим. наук, профессор Заболоцкий В.И.



Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета  
«25» мая 2020 г. протокол № 5.

Председатель УМК факультета  
канд. хим. наук, Беспалов А.В.



Зав. отделом аспирантуры  
и докторантуры Звягинцева Н.Ю.



## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

### 1.1 Цель дисциплины

Целью освоения дисциплины «Современные методы исследования переноса ионов и диссоциации молекул воды в ионообменных мембранах» является изучение современных методов исследования переноса ионов и диссоциации молекул воды в ионообменных мембранах.

### 1.2 Задачи дисциплины

- сформировать знания теоретических основ методов исследования переноса ионов и диссоциации молекул воды в ионообменных мембранах;
- сформировать умения проводить определение основных характеристик таких мембран и мембранных систем.

### 1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Современные методы исследования переноса ионов и диссоциации молекул воды в ионообменных мембранах» относится к дисциплинам по выбору вариативной части блока Б1 «Дисциплины (модули)» учебного плана.

Изучению дисциплины «Современные методы исследования переноса ионов и диссоциации молекул воды в ионообменных мембранах» должно предшествовать изучение дисциплины «Физикохимия ионообменных материалов». Знания, приобретенные при освоении дисциплины, могут быть использованы при изучении дисциплины «Фундаментальные основы оптимизации и интенсификации мембранных процессов», в ходе прохождения научно-производственной практики и выполнения научных исследований.

### 1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенции: ОПК-1, ПК-1.

| № п.п. | Индекс компетенции | Содержание компетенции (или её части)                                                                                                                                       | В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны                                              |                                                                                                                           |                                                                                                                            |
|--------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                    |                                                                                                                                                                             | знать                                                                                                    | уметь                                                                                                                     | владеть                                                                                                                    |
| 1.     | ОПК-1              | Способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования | теоретические основы современных методов исследования в мембранной электрохимии<br>(Шифр: 3 (ОПК-1) – 1) | самостоятельно выбирать, осваивать и применять современные методы исследования сообщество поставленной задачи с учетом их | навыками планирования, постановки и выполнения экспериментов для изучения электрохимических систем и процессов<br>(Шифр: В |

| №<br>п.п. | Индекс<br>компе-<br>тенции | Содержание компе-<br>тенции (или её ча-<br>сти)                                                                                                                 | В результате изучения учебной дисциплины<br>обучающиеся должны |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                      |
|-----------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           |                            |                                                                                                                                                                 | знать                                                          | уметь                                                                                                                                           | владеть                                                                                                                                                                              |
|           |                            | ния и информацион-<br>но-<br>коммуникационных<br>технологий                                                                                                     |                                                                | точности, чув-<br>ствительно-<br>сти, стоимости<br>и доступности<br>(Шифр: У<br>(ОПК-1) – 1)                                                    | (ОПК-1) – 1)                                                                                                                                                                         |
|           | ПК-1                       | Способностью при-<br>менять основные<br>принципы, теории и<br>концепции совре-<br>менной электрохи-<br>мии для решения<br>фундаментальных и<br>прикладных задач |                                                                | обеспечивать<br>условия, необ-<br>ходимые для<br>оптимального<br>протекания<br>электрохиме-<br>ических про-<br>цессов<br>(Шифр: У<br>(ПК-1) -1) | навыками<br>применения<br>теоретических<br>представлений<br>современной<br>электрохимии<br>и смежных<br>дисциплин для<br>решения прак-<br>тических за-<br>дач (Шифр: В<br>(ПК-1) -2) |

## 2. Структура и содержание дисциплины

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. (108 часа), их распределение по видам работ представлено в таблице

#### Очная форма обучения

| Вид учебной работы                                         | Всего<br>часов | Курс<br>(часы) |  |  |  |
|------------------------------------------------------------|----------------|----------------|--|--|--|
|                                                            |                | 3              |  |  |  |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                          | 44             | 44             |  |  |  |
| В том числе:                                               |                |                |  |  |  |
| Занятия лекционного типа                                   | 8              | 8              |  |  |  |
| Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия) | 18             | 18             |  |  |  |
| Лабораторные занятия                                       | 18             | 18             |  |  |  |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b>                      | 64             | 64             |  |  |  |
| В том числе:                                               |                |                |  |  |  |
| Проработка учебного (теоретического) материала             | 54             | 54             |  |  |  |
| Подготовка к текущему контролю                             | 10             | 10             |  |  |  |
|                                                            |                |                |  |  |  |
| <b>Промежуточная аттестации (зачет)</b>                    |                |                |  |  |  |
| Общая трудоёмкость                                         | 108            | 108            |  |  |  |
| час<br>зач. ед.                                            | 3              | 3              |  |  |  |

### Заочная форма обучения

| Вид учебной работы                                         | Всего часов | Курс (часы) |    |  |  |
|------------------------------------------------------------|-------------|-------------|----|--|--|
|                                                            |             | 3           | 4  |  |  |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                          | 44          | 10          | 34 |  |  |
| В том числе:                                               |             |             |    |  |  |
| Занятия лекционного типа                                   | 8           | 4           | 4  |  |  |
| Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия) | 18          | 6           | 12 |  |  |
| Лабораторные занятия                                       | 18          | -           | 18 |  |  |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b>                      | 64          | 62          | 2  |  |  |
| В том числе:                                               |             |             |    |  |  |
| Проработка учебного (теоретического) материала             | 37          | 36          | 1  |  |  |
| Подготовка к текущему контролю                             | 27          | 26          | 1  |  |  |
|                                                            |             |             |    |  |  |
| <b>Промежуточная аттестации (зачет)</b>                    |             |             |    |  |  |
| Общая трудоемкость час                                     | 108         | 72          | 36 |  |  |
| зач. ед.                                                   | 3           | 2           | 1  |  |  |

### 2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Разделы дисциплины, изучаемые на 3 курсе (для студентов ОФО)

Очная форма обучения

| № раздела | Наименование разделов                                                                                                                                                                   | Количество часов |                   |    |    |                        |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|----|----|------------------------|
|           |                                                                                                                                                                                         | Всего            | Аудиторная работа |    |    | Самостоятельная работа |
|           |                                                                                                                                                                                         |                  | Л                 | ПЗ | ЛР |                        |
| 1.        | Введение. Основные понятия. Основные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем. | 26               | 2                 | 4  | 4  | 16                     |
| 2.        | Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменные мембраны и в мембранных системах.                                                                                       | 26               | 2                 | 4  | 4  | 16                     |
| 3.        | Исследование нестационарного переноса электролита в мембранных системах. Хронопотенциометрия.                                                                                           | 26               | 2                 | 4  | 4  | 16                     |
| 4.        | Исследование процесса диссоциации молекул воды в мембранных системах. Метод частотного спектра электрохимического импеданса.                                                            | 30               | 2                 | 6  | 6  | 16                     |
|           | <i>Всего:</i>                                                                                                                                                                           | 108              | 8                 | 18 | 18 | 64                     |

Разделы дисциплины, изучаемые на 3 курсе (для студентов ЗФО)  
Заочная форма обучения

| № раз-дела | Наименование разделов                                                                                                                                                                   | Количество часов |                   |    |    |                        |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|----|----|------------------------|
|            |                                                                                                                                                                                         | Всего            | Аудиторная работа |    |    | Самостоятельная работа |
|            |                                                                                                                                                                                         |                  | Л                 | ПЗ | ЛР |                        |
| 1.         | Введение. Основные понятия. Основные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем. | 35               | 2                 | 2  | 0  | 31                     |
| 2.         | Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменные мембраны и в мембранных системах.                                                                                       | 37               | 2                 | 4  | 0  | 31                     |
|            | <i>Всего:</i>                                                                                                                                                                           | 72               | 4                 | 6  | 0  | 62                     |

Разделы дисциплины, изучаемые на 4 курсе (для студентов ЗФО)  
Заочная форма обучения

| № раз-дела | Наименование разделов                                                                                                        | Количество часов |                   |    |    |                        |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|----|----|------------------------|
|            |                                                                                                                              | Всего            | Аудиторная работа |    |    | Самостоятельная работа |
|            |                                                                                                                              |                  | Л                 | ПЗ | ЛР |                        |
| 1.         | Исследование нестационарного переноса электролита в мембранных системах. Хронопотенциометрия.                                | 17               | 2                 | 6  | 8  | 1                      |
| 2.         | Исследование процесса диссоциации молекул воды в мембранных системах. Метод частотного спектра электрохимического импеданса. | 19               | 2                 | 6  | 10 | 1                      |
|            | <i>Всего:</i>                                                                                                                | 36               | 4                 | 12 | 18 | 2                      |

## 2.3 Содержание разделов дисциплины:

### 2.3.1 Занятия лекционного типа

Разделы дисциплины, изучаемые на 3 курсе (для студентов ОФО)  
Очная форма обучения

| №  | Наименование раздела                                                                                                 | Содержание раздела                                                                                                                                                                         | Форма текущего контроля |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1  | 2                                                                                                                    | 3                                                                                                                                                                                          | 4                       |
| 1. | Введение. Основные понятия. Основные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Ос- | Введение. История развития методов исследования переноса ионов и диссоциации молекул воды в ионообменных мембранах. Роль российских и советских ученых в развитии мембранной электрохимии. | Коллоквиум              |

|    |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|    | новные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем.                                                         | Основные понятия: мембрана и мембранная система.<br>Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем: вольт-амперная характеристика, электропроводность, числа переноса ионов, хронопотенциограмма, частотный спектр электрохимического импеданса. Механизмы переноса ионов и диссоциации молекул воды в ионообменных мембранах                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |
| 2. | Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменные мембраны и в мембранных системах.                            | Вольт-амперометрия системы с ионообменной мембраной. Расчет предельного электродиффузионного тока мембранной системы по вольтамперной характеристике. Метод теоретического расчета предельного электродиффузионного тока мембранной системы. Методы исследования вольт-амперных характеристик мембранных систем: статические, динамические; парциальные вольт-амперные характеристики. Использование вращающегося мембранного диска.<br>Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменную мембрану. Модифицированный метод Гитторфа для измерения чисел переноса ионов через мембраны, метод pH- и с-стата, метод гидродинамической изоляции. Расчет парциальной по токам, переносимым разными типами ионов, вольтамперной характеристики мембранной системы. | Коллоквиум |
| 3. | Исследование нестационарного переноса электролита в мембранных системах. Хронопотенциометрия.                                | Хронопотенциометрия. Переходные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Переходное время, метод его определения. Установление механизма лимитирующей стадии переноса ионов через мембрану. Изменения в хронопотенциограмме при протекании химической реакции в мембранной системе.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Коллоквиум |
| 4. | Исследование процесса диссоциации молекул воды в мембранных системах. Метод частотного спектра электрохимического импеданса. | Частотные спектры электрохимического импеданса основных электрических элементов: омического сопротивления, электрической емкости, индуктивности и двухполюсников, составленных из этих элементов. Способы выражения частотного спектра импеданса. Основные типы электрохимического импеданса мембранных систем. Применение метода частотного спектра                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Коллоквиум |

|  |  |                                                                                                                                                                |  |
|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | электрохимического импеданса для исследования реакции диссоциации на границах «мембрана – раствор» и «катионообменник – анионообменник» в мембранных системах. |  |
|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

Разделы дисциплины, изучаемые на 3 курсе (для студентов ЗФО)  
Заочная форма обучения

| №  | Наименование раздела                                                                                                                                                                    | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Форма текущего контроля |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1  | 2                                                                                                                                                                                       | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 4                       |
| 1. | Введение. Основные понятия. Основные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем. | Введение. История развития методов исследования переноса ионов и диссоциации молекул воды в ионообменных мембранах. Роль российских и советских ученых в развитии мембранной электрохимии.<br>Основные понятия: мембрана и мембранная система.<br>Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем: вольт-амперная характеристика, электропроводность, числа переноса ионов, хронопотенциограмма, частотный спектр электрохимического импеданса.<br>Механизмы переноса ионов и диссоциации молекул воды в ионообменных мембранах                                                                                                                                                                                                                          | Коллоквиум              |
| 2. | Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменные мембраны и в мембранных системах.                                                                                       | Вольт-амперометрия системы с ионообменной мембраной. Расчет предельного электродиффузионного тока мембранной системы по вольтамперной характеристике. Метод теоретического расчета предельного электродиффузионного тока мембранной системы. Методы исследования вольт-амперных характеристик мембранных систем: статические, динамические; парциальные вольт-амперные характеристики. Использование вращающегося мембранного диска.<br>Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменную мембрану. Модифицированный метод Гитторфа для измерения чисел переноса ионов через мембраны, метод рН- и с-стата, метод гидродинамической изоляции.<br>Расчет парциальной по токам, переносимым разными типами ионов, вольтамперной характеристики мембранной системы. | Коллоквиум              |

Разделы дисциплины, изучаемые на 4 курсе (для студентов ЗФО)  
Заочная форма обучения

| №  | Наименование раздела                                                                                                         | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Форма текущего контроля |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1  | 2                                                                                                                            | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4                       |
| 1. | Исследование нестационарного переноса электролита в мембранных системах. Хронопотенциометрия.                                | Хронопотенциометрия. Переходные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Переходное время, метод его определения. Установление механизма лимитирующей стадии переноса ионов через мембрану. Изменения в хронопотенциограмме при протекании химической реакции в мембранной системе.                                                                                                                                                                                              | Коллоквиум              |
| 2. | Исследование процесса диссоциации молекул воды в мембранных системах. Метод частотного спектра электрохимического импеданса. | Частотные спектры электрохимического импеданса основных электрических элементов: омического сопротивления, электрической емкости, индуктивности и двухполюсников, составленных из этих элементов. Способы выражения частотного спектра импеданса. Основные типы электрохимического импеданса мембранных систем. Применение метода частотного спектра электрохимического импеданса для исследования реакции диссоциации на границах «мембрана – раствор» и «катионообменник – анионообменник» в мембранных системах. | Коллоквиум              |

### 2.3.2 Практические занятия

Очная форма обучения

| №  | Наименование раздела                                                                                                                                                                    | Тема семинара                                                                                                                                                                                                                                                           | Форма текущего контроля |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1. | Введение. Основные понятия. Основные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем. | Основные понятия: мембрана и мембранная система.<br>Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем: вольт-амперная характеристика, электропроводность, числа переноса ионов, хронопотенциограмма, частотный спектр электрохимического импеданса. | Коллоквиум              |
|    |                                                                                                                                                                                         | Механизмы переноса ионов и диссоциации молекул воды в ионообменных мембранах                                                                                                                                                                                            | Коллоквиум              |

|    |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |             |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 2. | Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменные мембраны и в мембранных системах.                            | Вольт-амперометрия системы с ионообменной мембраной. Расчет предельного электродиффузионного тока мембранной системы по вольтамперной характеристике. Метод теоретического расчета предельного электродиффузионного тока мембранной системы.                                                                                        | Коллоквиум  |
|    |                                                                                                                              | Методы исследования вольт-амперных характеристик мембранных систем: статические, динамические; парциальные вольт-амперные характеристики. Использование вращающегося мембранного диска.                                                                                                                                             | Коллоквиум. |
|    |                                                                                                                              | Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменную мембрану. Модифицированный метод Гитторфа для измерения чисел переноса ионов через мембраны, метод рН- и с-стата, метод гидродинамической изоляции. Расчет парциальной по токам, переносимым разными типами ионов, вольтамперной характеристики мембранной системы. | Коллоквиум. |
| 3. | Исследование нестационарного переноса электролита в мембранных системах. Хронопотенциометрия.                                | Хронопотенциометрия. Переходные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Переходное время, метод его определения. Установление механизма лимитирующей стадии переноса ионов через мембрану. Изменения в хронопотенциограмме при протекании химической реакции в мембранной системе.              | Коллоквиум. |
| 4. | Исследование процесса диссоциации молекул воды в мембранных системах. Метод частотного спектра электрохимического импеданса. | Частотные спектры электрохимического импеданса основных электрических элементов: омического сопротивления, электрической емкости, индуктивность и двухполюсников, составленных из этих элементов. Способы выражения частотного спектра импеданса.                                                                                   | Коллоквиум. |
|    |                                                                                                                              | Основные типы электрохимического импеданса мембранных систем: импеданс Варбурга в полубесконечной и конечной области, импеданс Геришера, элемент постоянной фазы.                                                                                                                                                                   | Коллоквиум. |
|    |                                                                                                                              | Применение метода частотного спектра электрохимического импеданса для исследования реакции диссоциации на границах «мембрана – раствор» и «катионообменник – анионообменник» в мембранных системах.                                                                                                                                 | Коллоквиум. |

Разделы дисциплины, изучаемые на 3 курсе (для студентов ЗФО)  
*Заочная форма обучения*

| №  | Наименование раздела                                                                                                                                                                    | Тема семинара                                                                                                                                                                                                                                                           | Форма текущего контроля |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1. | Введение. Основные понятия. Основные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем. | Основные понятия: мембрана и мембранная система.<br>Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем: вольт-амперная характеристика, электропроводность, числа переноса ионов, хронопотенциограмма, частотный спектр электрохимического импеданса. | Коллоквиум              |
|    |                                                                                                                                                                                         | Механизмы переноса ионов и диссоциации молекул воды в ионообменных мембранах                                                                                                                                                                                            | Коллоквиум              |
| 2. | Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменные мембраны и в мембранных системах.                                                                                       | Вольт-амперометрия системы с ионообменной мембраной. Расчет предельного электродиффузионного тока мембранной системы по вольтамперной характеристике. Метод теоретического расчета предельного электродиффузионного тока мембранной системы.                            | Коллоквиум              |

Разделы дисциплины, изучаемые на 4 курсе (для студентов ЗФО)  
*Заочная форма обучения*

| №  | Наименование раздела                                                                          | Тема семинара                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Форма текущего контроля |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1. | Исследование нестационарного переноса электролита в мембранных системах. Хронопотенциометрия. | Методы исследования вольт-амперных характеристик мембранных систем: статические, динамические; парциальные вольт-амперные характеристики. Использование вращающегося мембранного диска.                                                                                                                                             | Коллоквиум.             |
|    |                                                                                               | Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменную мембрану. Модифицированный метод Гитторфа для измерения чисел переноса ионов через мембраны, метод рН- и с-стата, метод гидродинамической изоляции. Расчет парциальной по токам, переносимым разными типами ионов, вольтамперной характеристики мембранной системы. | Коллоквиум.             |

|    |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|    |                                                                                                                              | Хронопотенциометрия. Переходные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Переходное время, метод его определения. Установление механизма лимитирующей стадии переноса ионов через мембрану. Изменения в хронопотенциограмме при протекании химической реакции в мембранной системе. | Коллоквиум. |
| 2. | Исследование процесса диссоциации молекул воды в мембранных системах. Метод частотного спектра электрохимического импеданса. | Частотные спектры электрохимического импеданса основных электрических элементов: омического сопротивления, электрической емкости, индуктивность и двухполюсников, составленных из этих элементов. Способы выражения частотного спектра импеданса.                                                                      | Коллоквиум. |
|    |                                                                                                                              | Основные типы электрохимического импеданса мембранных систем: импеданс Варбурга в полубесконечной и конечной области, импеданс Геришера, элемент постоянной фазы.                                                                                                                                                      | Коллоквиум. |
|    |                                                                                                                              | Применение метода частотного спектра электрохимического импеданса для исследования реакции диссоциации на границах «мембрана – раствор» и «катионообменник – анионообменник» в мембранных системах.                                                                                                                    | Коллоквиум. |

### 2.3.3 Лабораторные занятия

#### *Очная форма обучения*

| №  | Наименование раздела                                                                                                                                                                    | Наименование лабораторных работ                                         | Форма текущего контроля    |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1  | 2                                                                                                                                                                                       | 3                                                                       | 4                          |
| 1. | Введение. Основные понятия. Основные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем. | Измерение динамической вольт-амперной характеристик. мембранной системы | Защита лабораторной работы |
| 2. | Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменные мембраны и в мембранных системах.                                                                                       | Измерение эффективных чисел переноса ионов в биполярной мембране        | Защита лабораторной работы |
| 3. | Исследование нестационарного переноса                                                                                                                                                   | Измерение переходной характеристики мембранной системы                  | Защита лабораторной работы |

|    |                                                                                                                              |                                                                                                                     |                            |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
|    | электролита в мембранных системах. Хронопотенциометрия.                                                                      |                                                                                                                     |                            |
| 4. | Исследование процесса диссоциации молекул воды в мембранных системах. Метод частотного спектра электрохимического импеданса. | Исследование частотного спектра электрохимического импеданса области пространственного заряда в биполярной мембране | Защита лабораторной работы |

Разделы дисциплины, изучаемые на 4 курсе (для студентов ЗФО)  
Заочная форма обучения

| №  | Наименование раздела                                                                                                                                                                    | Наименование лабораторных работ                                                                                     | Форма текущего контроля    |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1  | 2                                                                                                                                                                                       | 3                                                                                                                   | 4                          |
| 1. | Введение. Основные понятия. Основные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем. | Измерение динамической вольт-амперной характеристик. мембранной системы                                             | Защита лабораторной работы |
| 2. | Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменные мембраны и в мембранных системах.                                                                                       | Измерение эффективных чисел переноса ионов в биполярной мембране                                                    | Защита лабораторной работы |
| 3. | Исследование нестационарного переноса электролита в мембранных системах. Хронопотенциометрия.                                                                                           | Измерение переходной характеристики мембранной системы                                                              | Защита лабораторной работы |
| 4. | Исследование процесса диссоциации молекул воды в мембранных системах. Метод частотного спектра электрохимического импеданса.                                                            | Исследование частотного спектра электрохимического импеданса области пространственного заряда в биполярной мембране | Защита лабораторной работы |

## 2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа аспирантов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе и самостоятельного решения задач с дальнейшим их разбором или обсуждением на

аудиторных занятиях. Во время самостоятельной подготовки обучающиеся обеспечены доступом к базам данных и библиотечным фондам и доступом к сети Интернет.

| №  | Наименование раздела                                                                                                                                                                    | Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 2                                                                                                                                                                                       | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1. | Введение. Основные понятия. Основные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем. | <p>Мембраны и мембранные технологии, под ред. А.Б. Ярославцева [электронный ресурс] – М.: Научный мир, 2013. Режим доступа:<br/> <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=468334&amp;sr=1">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=468334&amp;sr=1</a></p> <p>Березина Н.П. Электрохимия мембранных систем. Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 2009. 137 с.</p> <p>Лебедев К.А. Экологически чистые электродиализные технологии (математическое моделирование переноса ионов в многослойных мембранных системах) / К. А. Лебедев; под ред. В. И. Заболоцкого; М-во образования РФ, КубГУ. - Краснодар : [КубГУ], 2002. - 142 с.</p> <p>Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2008. 568 с.</p> <p>Угрянская В.А., Чикин Г.А., Селеменев В.Ф., Завьялова Г.А. Инфракрасная спектроскопия ионообменных материалов. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1989. 208 с.</p> |
| 2. | Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменные мембраны и в мембранных системах.                                                                                       | <p>Мембраны и мембранные технологии, под ред. А.Б. Ярославцева [электронный ресурс] – М.: Научный мир, 2013. Режим доступа:<br/> <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=468334&amp;sr=1">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=468334&amp;sr=1</a></p> <p>Березина Н.П. Электрохимия мембранных систем. Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 2009. 137 с.</p> <p>Лебедев К.А. Экологически чистые электродиализные технологии (математическое моделирование переноса ионов в многослойных мембранных системах) / К. А. Лебедев; под ред. В. И. Заболоцкого; М-во образования РФ, КубГУ. - Краснодар : [КубГУ], 2002. - 142 с.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 3. | Исследование нестационарного переноса электролита в мембранных системах. Хронопотенциометрия.                                                                                           | <p>Мембраны и мембранные технологии, под ред. А.Б. Ярославцева [электронный ресурс] – М.: Научный мир, 2013. Режим доступа:<br/> <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=468334&amp;sr=1">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=468334&amp;sr=1</a></p> <p>Галюс З. Теоретические основы электрохимического анализа. М.: Мир, 1974. 552 с.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 4. | Исследование процесса диссоциации молекул воды в мембранных системах. Метод частотного спектра электрохимического импеданса.                                                            | <p>Мембраны и мембранные технологии, под ред. А.Б. Ярославцева [электронный ресурс] – М.: Научный мир, 2013. Режим доступа:<br/> <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=468334&amp;sr=1">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=468334&amp;sr=1</a></p> <p>Иванов-Шиц А.К., Муринов И.В. Ионика твердого тела: В 2 т. Т.1 СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2000. 616 с.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

#### **2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

| № | Вид СРС                          | Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы                                                                                                                                                   |
|---|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 2                                | 3                                                                                                                                                                                                                                           |
| 1 | Выполнение лабораторных работ    | Методические рекомендации к организации аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) работы студентов: методические указания / сост. Т.П. Стороженко, Т.Б. Починок, А.В. Беспалов, Н.В. Лоза. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2018. 89 с. |
| 2 | Самостоятельная работа студентов | Методические рекомендации к организации аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) работы студентов: методические указания / сост. Т.П. Стороженко, Т.Б. Починок, А.В. Беспалов, Н.В. Лоза. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2018. 89 с. |

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,

### **3. Образовательные технологии**

При реализации учебной работы по освоению курса «Современные методы исследования переноса ионов и диссоциации молекул воды в ионообменных мембранах» используются современные образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- проектные методы обучения;
- исследовательские методы в обучении;
- проблемное обучение.

Успешное освоение материала курса предполагает большую самостоятельную работу аспирантов и руководство этой работой со стороны преподавателя.

В учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий: метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

### **4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

## **4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля**

### **Контрольные вопросы для коллоквиумов**

#### **Вопросы для коллоквиума по теме «Введение. Основные понятия. Основные процессы в мембранной системе, происходящие при включении постоянного тока. Основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем»**

1. Поясните, какие функции выполняют ионообменные мембраны различных типов в мембранных процессах.
2. Почему возникает необходимость использования термина «мембранная система», в каких случаях термина «мембрана» недостаточно?
3. Назовите основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем. С какими свойствами или процессами мембранных систем они связаны?
4. Достаточно ли измерения вольт-амперной характеристики для понимания процессов, протекающих в мембранной системе?
5. Какую дополнительную информацию и как можно извлечь из вольт-амперной характеристики, применяя методы измерения чисел переноса ионов через мембрану?
6. Какие особенности строения системы мембрана – раствора позволяет обнаружить метод частотного спектра электрохимического импеданса?
7. Чем различается состояние мембранной системы при измерении хронопотенциограммы и частотного спектра импеданса?
8. Поясните, с помощью каких механизмов осуществляется перенос ионов в мембранных системах.
9. В чем состоит особенность протекания реакции диссоциации молекул воды в системе ионообменная мембрана – раствор в отличие от реакции в растворе?
10. Какова роль ионообменной мембраны в протекании реакции диссоциации молекул воды?
11. Какие факторы и как влияют на скорость протекания реакции диссоциации молекул воды в системе ионообменная мембрана – раствор?

#### **Вопросы для коллоквиума по теме «Методы исследования переноса ионов и молекул через ионообменные мембраны и в мембранных системах»**

1. Как перенос ионов и диссоциация молекул воды в мембранной системе отражается на виде вольт-амперной характеристики мембранной системы?
2. Как рассчитывают предельный электродиффузионный ток в мембранной системе по вольт-амперной характеристике?
3. По какому уравнению рассчитывают теоретическое значение предельного электродиффузионного тока в классическом приближении?

4. Как влияет скорость развертки тока на вид динамической вольт-амперной характеристики мембранной системы?
5. В каком случае статическая вольт-амперная характеристика мембранной системы совпадает с динамической?
6. В чем преимущества метода «вращающегося мембранного диска» перед методами исследования с неподвижной мембраной?
7. Как рассчитывают вольт-амперную характеристику мембранной системы парциальную по токам, переносимым разными типами ионов?
8. Виды чисел переноса. От чего зависят числа переноса ионов через мембрану?
9. Какие методы измерения чисел переноса ионов через отдельную мембрану известны? В чем их преимущества и недостатки?
10. В чем заключается трудность измерения чисел переноса ионов через отдельную мембрану?

**Вопросы для коллоквиума по теме «Исследование нестационарного переноса электролита в мембранных системах.**

**Хронопотенциометрия»**

1. Что называют хронопотенциограммой мембранной системы? Какие процессы протекают в мембранной системе на различных участках хронопотенциограммы?
2. На какие особенности конструкции электрохимической ячейки необходимо обращать внимание при измерении хронопотенциограмм мембранных систем?
3. Какие меры предосторожности необходимо принимать при измерении хронопотенциограмм мембранных систем?
4. Чем определяется время наступления стационарного состояния в мембранной системе? Какая величина называется переходным временем? Как его рассчитывают по хронопотенциограмме?
5. Напишите уравнение, которое позволяет рассчитать переходное время в том случае, когда лимитирующая стадия переноса электролита – диффузия. С помощью какого графика можно подтвердить диффузионные ограничения при переносе электролита в мембранной системе?
6. Как изменяется хронопотенциограмма мембранной системы, если в ней протекает не только диффузия, но и химическая реакция?
7. Какая стадия процесса называется лимитирующей? Как с помощью хронопотенциометрии можно определить природу лимитирующей стадии?

**Вопросы для коллоквиума по теме «Исследование процесса диссоциации молекул воды в мембранных системах. Метод частотного спектра электрохимического импеданса»**

1. Какие особенности строения мембранных систем «мембрана – раствор» и «катионообменник – анионообменник» приводят к появлению в них электрической емкости?
2. Какие процессы в мембранных системах «мембрана – раствор» и «катионообменник – анионообменник» приводят к появлению в них электрической емкости?
3. Что называют частотным спектром электрохимического импеданса? Как его измеряют?
4. Какой вид имеют частотные спектры электрохимического импеданса простейших электрических элементов: омическое сопротивление, конденсатор, индуктивность. Какими уравнениями они описываются?
5. Какой вид имеют частотные спектры электрохимического импеданса эквивалентных схем, составленных из простейших электрических элементов: омическое сопротивление, конденсатор, индуктивность. Какими уравнениями они описываются?
6. Какой вид имеют частотные спектры электрохимического импеданса элемента постоянной фазы, Варбурга для диффузии в полубесконечной области и в ограниченной области, Геришера для гомогенной химической реакции?
7. Какие характеристики мембранных систем позволяет рассчитать метод частотного спектра электрохимического импеданса, если в системе протекает химическая реакция?
8. Какой вид имеют частотные спектры электрохимического импеданса мембранных систем? Какие процессы в мембранных системах они отражают?

#### **4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации**

##### **Зачетно-экзаменационные материалы для промежуточной аттестации (зачет) для студентов ОФО**

###### **Вопросы для подготовки к зачету**

1. Поясните, какие функции выполняют ионообменные мембраны различных типов в мембранных процессах.
2. Почему возникает необходимость использования термина «мембранная система», в каких случаях термина «мембрана» недостаточно?
3. Назовите основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем. С какими свойствами или процессами мембранных систем они связаны?
4. Достаточно ли измерения вольт-амперной характеристики для понимания процессов, протекающих в мембранной системе?
5. Какую дополнительную информацию и как можно извлечь из вольт-амперной характеристики, применяя методы измерения чисел переноса ионов через мембрану?

6. Какие особенности строения системы мембрана – раствора позволяет обнаружить метод частотного спектра электрохимического импеданса?
7. Чем различается состояние мембранной системы при измерении хронопотенциограммы и частотного спектра импеданса?
8. Поясните, с помощью каких механизмов осуществляется перенос ионов в мембранных системах.
9. В чем состоит особенность протекания реакции диссоциации молекул воды в системе ионообменная мембрана – раствор в отличие от реакции в растворе?
10. Какова роль ионообменной мембраны в протекании реакции диссоциации молекул воды?
11. Какие факторы и как влияют на скорость протекания реакции диссоциации молекул воды в системе ионообменная мембрана – раствор?
12. Как перенос ионов и диссоциация молекул воды в мембранной системе отражается на виде вольт-амперной характеристики мембранной системы?
13. Как рассчитывают предельный электродиффузионный ток в мембранной системе по вольт-амперной характеристике?
14. По какому уравнению рассчитывают теоретическое значение предельного электродиффузионного тока в классическом приближении?
15. Как влияет скорость развертки тока на вид динамической вольт-амперной характеристики мембранной системы?
16. В каком случае статическая вольт-амперная характеристика мембранной системы совпадает с динамической?
17. В чем преимущества метода «вращающегося мембранного диска» перед методами исследования с неподвижной мембраной?
18. Как рассчитывают вольт-амперную характеристику мембранной системы парциальную по токам, переносимым разными типами ионов?
19. Виды чисел переноса. От чего зависят числа переноса ионов через мембрану?
20. Какие методы измерения чисел переноса ионов через отдельную мембрану известны? В чем их преимущества и недостатки?
21. В чем заключается трудность измерения чисел переноса ионов через отдельную мембрану?
22. Что называют хронопотенциограммой мембранной системы? Какие процессы протекают в мембранной системе на различных участках хронопотенциограммы?
23. На какие особенности конструкции электрохимической ячейки необходимо обращать внимание при измерении хронопотенциограмм мембранных систем?
24. Какие меры предосторожности необходимо принимать при измерении хронопотенциограмм мембранных систем?

25. Чем определяется время наступления стационарного состояния в мембранной системе? Какая величина называется переходным временем? Как его рассчитывают по хронопотенциограмме?
26. Напишите уравнение, которое позволяет рассчитать переходное время в том случае, когда лимитирующая стадия переноса электролита – диффузия. С помощью какого графика можно подтвердить диффузионные ограничения при переносе электролита в мембранной системе?
27. Как изменяется хронопотенциограмма мембранной системы, если в ней протекает не только диффузия, но и химическая реакция?
28. Какая стадия процесса называется лимитирующей? Как с помощью хронопотенциометрии можно определить природу лимитирующей стадии?
29. Какие особенности строения мембранных систем «мембрана – раствор» и «катионообменник – анионообменник» приводят к появлению в них электрической емкости?
30. Какие процессы в мембранных системах «мембрана – раствор» и «катионообменник – анионообменник» приводят к появлению в них электрической емкости?
31. Что называют частотным спектром электрохимического импеданса? Как его измеряют?
32. Какой вид имеют частотные спектры электрохимического импеданса простейших электрических элементов: омическое сопротивление, конденсатор, индуктивность. Какими уравнениями они описываются?
33. Какой вид имеют частотные спектры электрохимического импеданса эквивалентных схем, составленных из простейших электрических элементов: омическое сопротивление, конденсатор, индуктивность. Какими уравнениями они описываются?
34. Какой вид имеют частотные спектры электрохимического импеданса элемента постоянной фазы, Варбурга для диффузии в полубесконечной области и в ограниченной области, Геришера для гомогенной химической реакции?
35. Какие характеристики мембранных систем позволяет рассчитать метод частотного спектра электрохимического импеданса, если в системе протекает химическая реакция?
36. Какой вид имеют частотные спектры электрохимического импеданса мембранных систем? Какие процессы в мембранных системах они отражают?

**Зачетно-экзаменационные материалы для промежуточной аттестации (зачет) для студентов ЗФО**

**Вопросы для подготовки к зачету на 3 курсе**

1. Поясните, какие функции выполняют ионообменные мембраны различных типов в мембранных процессах.

2. Почему возникает необходимость использования термина «мембранная система», в каких случаях термина «мембрана» недостаточно?
3. Назовите основные электрохимические характеристики мембран и мембранных систем. С какими свойствами или процессами мембранных систем они связаны?
4. Достаточно ли измерения вольт-амперной характеристики для понимания процессов, протекающих в мембранной системе?
5. Какую дополнительную информацию и как можно извлечь из вольт-амперной характеристики, применяя методы измерения чисел переноса ионов через мембрану?
6. Какие особенности строения системы мембрана – раствора позволяет обнаружить метод частотного спектра электрохимического импеданса?
7. Чем различается состояние мембранной системы при измерении хронопотенциограммы и частотного спектра импеданса?
8. Поясните, с помощью каких механизмов осуществляется перенос ионов в мембранных системах.
9. В чем состоит особенность протекания реакции диссоциации молекул воды в системе ионообменная мембрана – раствор в отличие от реакции в растворе?
10. Какова роль ионообменной мембраны в протекании реакции диссоциации молекул воды?
11. Какие факторы и как влияют на скорость протекания реакции диссоциации молекул воды в системе ионообменная мембрана – раствор?
12. Как перенос ионов и диссоциация молекул воды в мембранной системе отражается на виде вольт-амперной характеристики мембранной системы?
13. Как рассчитывают предельный электродиффузионный ток в мембранной системе по вольт-амперной характеристике?
14. По какому уравнению рассчитывают теоретическое значение предельного электродиффузионного тока в классическом приближении?
15. Как влияет скорость развертки тока на вид динамической вольт-амперной характеристики мембранной системы?
16. В каком случае статическая вольт-амперная характеристика мембранной системы совпадает с динамической?
17. В чем преимущества метода «вращающегося мембранного диска» перед методами исследования с неподвижной мембраной?
18. Как рассчитывают вольт-амперную характеристику мембранной системы парциальную по токам, переносимым разными типами ионов?
19. Виды чисел переноса. От чего зависят числа переноса ионов через мембрану?
20. Какие методы измерения чисел переноса ионов через отдельную мембрану известны? В чем их преимущества и недостатки?
21. В чем заключается трудность измерения чисел переноса ионов через отдельную мембрану?

### Вопросы для подготовки к зачету на 4 курсе

1. Что называют хронопотенциограммой мембранной системы? Какие процессы протекают в мембранной системе на различных участках хронопотенциограммы?
2. На какие особенности конструкции электрохимической ячейки необходимо обращать внимание при измерении хронопотенциограмм мембранных систем?
3. Какие меры предосторожности необходимо принимать при измерении хронопотенциограмм мембранных систем?
4. Чем определяется время наступления стационарного состояния в мембранной системе? Какая величина называется переходным временем? Как его рассчитывают по хронопотенциограмме?
5. Напишите уравнение, которое позволяет рассчитать переходное время в том случае, когда лимитирующая стадия переноса электролита – диффузия. С помощью какого графика можно подтвердить диффузионные ограничения при переносе электролита в мембранной системе?
6. Как изменяется хронопотенциограмма мембранной системы, если в ней протекает не только диффузия, но и химическая реакция?
7. Какая стадия процесса называется лимитирующей? Как с помощью хронопотенциометрии можно определить природу лимитирующей стадии?
8. Какие особенности строения мембранных систем «мембрана – раствор» и «катионообменник – анионообменник» приводят к появлению в них электрической емкости?
9. Какие процессы в мембранных системах «мембрана – раствор» и «катионообменник – анионообменник» приводят к появлению в них электрической емкости?
10. Что называют частотным спектром электрохимического импеданса? Как его измеряют?
11. Какой вид имеют частотные спектры электрохимического импеданса простейших электрических элементов: омическое сопротивление, конденсатор, индуктивность. Какими уравнениями они описываются?
12. Какой вид имеют частотные спектры электрохимического импеданса эквивалентных схем, составленных из простейших электрических элементов: омическое сопротивление, конденсатор, индуктивность. Какими уравнениями они описываются?
13. Какой вид имеют частотные спектры электрохимического импеданса элемента постоянной фазы, Варбурга для диффузии в полубесконечной области и в ограниченной области, Геришера для гомогенной химической реакции?
14. Какие характеристики мембранных систем позволяет рассчитать метод частотного спектра электрохимического импеданса, если в системе протекает химическая реакция?

15. Какой вид имеют частотные спектры электрохимического импеданса мембранных систем? Какие процессы в мембранных системах они отражают?

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

Аспиранты обязаны сдать зачет в соответствии с расписанием и учебным планом. Зачет по дисциплине преследует цель оценить работу аспиранта по дисциплине, оценить полученные теоретические знания, их прочность, развитие творческого мышления, умение применять полученные знания для решения практических задач.

Форма проведения зачета в устной форме установлена на заседании кафедры. Преподавателю предоставляется право задавать аспирантам дополнительные вопросы по всей учебной программе дисциплины. Результат сдачи зачета заносится преподавателем в экзаменационную ведомость и зачетную книжку.

Оценка «Зачтено» выставляется аспиранту, если ответ полный, правильный, самостоятельный, материал изложен в определенной логической

последовательности демонстрируется умение аргументировать собственную точку зрения, выбирать правильные экспериментальные методы для изучения электродных систем, устанавливать причинно-следственные связи между процессами, протекающими в электрохимических системах;

Оценка «Незачтено» выставляется, если ответ обнаруживает отсутствие знания основного содержания данной дисциплины.

## **5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **5.1 Основная литература:**

1. Мембраны и мембранные технологии, под ред. А.Б. Ярославцева [электронный ресурс] – М.: Научный мир, 2013. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=468334&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=468334&sr=1)

### **5.2 Дополнительная литература:**

1. Лебедев К.А. Экологически чистые электродиализные технологии (математическое моделирование переноса ионов в многослойных мембранных системах) / К. А. Лебедев; под ред. В. И. Заболоцкого; М-во образования РФ, КубГУ. - Краснодар : [КубГУ], 2002. - 142 с.
2. Березина Н.П. Электрохимия мембранных систем. Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 2009. 137 с.
3. Галюс З. Теоретические основы электрохимического анализа. М.: Мир, 1974. 552 с.
4. Иванов-Шиц А.К., Мурин И.В. Ионика твердого тела: В 2 т. Т.1 СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2000. 616 с.
5. Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2008. 568 с.
6. Углянская В.А., Чикин Г.А., Селеменев В.Ф., Завьялова Г.А. Инфракрасная спектроскопия ионообменных материалов. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1989. 208 с.

### **5.3. Периодические издания:**

1. Журнал "Электрохимия".
2. Успехи химии.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. Русское мембранное общество «Мембраны и мембранные технологии»: <http://memtech.ru/index.php/ru/>
2. КубГУ, кафедра физической химии: <http://www.kubsu.ru/University/departments/CHEM/physchem/>
3. НОЦ Южный мембранный центр: [www.mtc.kubsu.ru](http://www.mtc.kubsu.ru)
4. ЗАО РМЦ "Югтехинформ" Лаборатория мембран и мембранных процессов: <http://techresearch.ru/lmmp.htm>

5. ScienceDirect – сайт предоставляющий доступ к научным публикациям  
<http://www.sciencedirect.com/>

## **7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение дисциплины предполагает активное, творческое участие аспиранта путем планомерной, повседневной работы.

### **Общие рекомендации**

Изучение дисциплины следует начинать с проработки рабочей программы, особое внимание уделяя целям и задачам, структуре и содержанию курса.

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- чтение аспирантами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- подготовку к лабораторным занятиям;
- работу с Интернет-источниками;
- подготовка к зачету.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, аспирантам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, полученный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, приведенных в рабочей программе дисциплины.

### **Работа с конспектом лекций**

Просмотрите конспект сразу после занятий, отметьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя рекомендуемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь за помощью к преподавателю на консультации или ближайшей лекции. Регулярно отводите время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

### **Подготовка к практическим занятиям и коллоквиумам**

Подготовка к практическим занятиям и коллоквиумам аспирантов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе с дальнейшим их разбором, или обсуждением на практических занятиях и коллоквиумах.

### **Выполнение лабораторных работ**

На занятии получите у преподавателя график выполнения лабораторных работ. Получите все необходимое методическое обеспечение. Перед посещением лаборатории изучите теорию вопроса, предполагаемого к исследованию, ознакомьтесь с руководством по соответствующей работе и подготовьте протокол проведения работы, в который занесите:

- название работы;
- заготовки таблиц для заполнения экспериментальными данными наблюдений;
- уравнения химических реакций превращений, которые будут осуществлены при выполнении эксперимента;
- расчетные формулы.

Оформление отчетов должно проводиться после окончания работы в лаборатории. Для подготовки к защите отчета следует проанализировать экспериментальные результаты, сопоставить их с известными теоретическими положениями, справочными или литературными данными, обобщить результаты исследований в виде выводов по работе, подготовить ответы на вопросы, приводимые в методических указаниях к выполнению лабораторных работ.

Во время самостоятельной подготовки обучающиеся обеспечены доступом к базам данных и библиотечным фондам и доступом к сети Интернет.

При освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья предусмотрено проведение индивидуальной учебной работы (консультаций) – дополнительного разъяснения учебного материала. Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)**

### **8.1 Перечень необходимого программного обеспечения**

1. Microsoft Windows 8, 10
2. Microsoft Office Professional Plus

Программное обеспечение к измерителям импеданса.

### **8.2 Перечень необходимых информационных справочных систем**

1. eLIBRARY – Научная электронная библиотека (Москва)  
<http://www.elibrary.ru/>
2. Scopus – библиографическая и реферативная база данных, опубликованных в научных изданиях <http://www.scopus.com/>

## 9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Для проведения занятий по дисциплине имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам:

| №  | Вид работ            | Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Лекционные занятия   | Аудитория (ауд. 343с, 328с), оснащенная учебной мебелью, компьютером с соответствующим программным обеспечением (Windows, Microsoft Office), переносным проектором, меловой доской.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 2. | Семинарские занятия  | Аудитория (ауд. 343с, 328с), оснащенная учебной мебелью, компьютером с соответствующим программным обеспечением (Windows, Microsoft Office), переносным проектором, меловой доской.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 3. | Лабораторные занятия | <p>Лаборатория (ауд. 330с), укомплектованная специализированной мебелью, лабораторными установками и измерительными приборами для исследования мембран и мембранных систем: потенциостат-гальваностат Р-30I, импедансметр Z-1000P, измеритель-анализатор импеданса, вольтамперных и переходных характеристик мембран, потенциостат-гальваностат Autolab PGSTAT 100N, pH-метр иономер ЭКСПЕРТ-001, титратор автоматический TitroLine 6000, иономер И-130 – 3 шт., кондуктометр ЭКСПЕРТ-002, фотометр фотоэлектрический КФК-3, вольтметр универсальный В7-78/1, вольтметр универсальный В7-34А, источник питания постоянного тока Б5-50 – 3 шт., весы электронные лабораторные HR-120, насос перистальтический ЛАБ-НП-1 – 3 шт., термостат жидкостной ЛАБ-ТЖ-ТС-01, перемешивающее устройство ЛАБ-ПУ-01.</p> <p>Лаборатория (ауд. 326с), укомплектованная специализированной мебелью, лабораторными установками и измерительными приборами для исследования мембран и мембранных систем: Потенциостат Autolab PGSTAT 100 N; источник тока-вольтметр Keithley 2200-60-2 ; источник тока-вольтметр Keithley 2100/E ; нановольтметр Keithley 6221/2182 А; вольтметр универсальный В7-71/1; насос шприцевой Dixon Instillar 1428; pH метр – иономер Эксперт-001; кондуктометр Эксперт-002; насос перистальтический многоканальный Heidolph Pumpdrive 5001; pH метр FER20-ATC Kit pH; кондуктометр FER30-KIT; весы аналитические Ohaus PA 214C; анализатор влагосодержания Ohaus MB-25; термостат Isotemp 6200 H7; сушильный шкаф BINDER FD 1150; сушильный шкаф Binder FD 53; шейкер экоприбор; мешалка Heidolph; мешалка ЛАБ-ПУ-01; термостат ТЖ-ТС-01; программатор ПР-8; потенциостат ПИ-50-1.1; плитка электрическая ШЛФ С-MAG HS 7; насос перистальтический одноканальный; рабочая станция.</p> |
| 4. | Групповые (индиви-   | Учебная аудитория, укомплектованная учебной мебелью                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|    |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | дуальные) консультации                     | (ауд. 343С, № 328С, № 334С)                                                                                                                                                                                                                                |
| 5. | Текущий контроль, промежуточная аттестация | Учебная аудитория для проведения практических занятий (ауд. № 343С, № 328С, № 334С), оснащенная учебной мебелью                                                                                                                                            |
| 6. | Самостоятельная работа                     | Аудитории, оснащенные учебной мебелью и компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета (№ 140, № 341С, № 329С) |