

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Факультет компьютерных технологий и прикладной математики  
Кафедра прикладной математики**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной работе,  
качеству образования – первый  
проректор  
\_\_\_\_\_ Иванов А.Г.  
подпись  
« 30 » 06 2017 г.



**РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Б1.В.ДВ.04.01 МОДЕЛИ МЕМБРАННОЙ ЭЛЕКТРОХИМИИ**

Для направления 01.04.02 Прикладная математика и информатика  
Направленность (профиль) Математическое моделирование

Квалификация выпускника – Магистр  
Форма обучения – Очная

Краснодар 2017

Рабочая программа дисциплины «Модели мембранной электрохимии» разработана в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика по программе «Математическое моделирование».

Программу составили: Никоненко В.В., д-р хим.наук, профессор



Уртенев М.Х., д-р физ.-мат. наук, профессор



Рабочая программа дисциплины «Модели мембранной электрохимии» утверждена на заседании кафедры прикладной математики протокол № 4 «29» июня 2017г.

Заведующий кафедрой Уртенев М.Х.



Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры математического моделирования от «21» июня 2017 г.. № 16

Заведующий кафедрой В.А. Бабешко



Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета компьютерных технологий и прикладной математики протокол № 4 «29» июня 2017г.

Председатель УМК факультета Малыхин К.В.



Рецензенты:

Шапошникова Татьяна Леонидовна.

Доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, профессор. Почетный работник высшего профессионального образования РФ. Директор института фундаментальных наук (ИФН) ФГБОУ ВО «КубГТУ».

Марков Виталий Николаевич.

Доктор технических наук. Профессор кафедры информационных систем и программирования института компьютерных систем и информационной безопасности (ИКСиИБ) ФГБОУ ВО «КубГТУ».

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цели** изучения дисциплины определены государственным образовательным стандартом высшего образования и соотнесены с общими целями ООП ВО по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика магистерской программы «Математическое моделирование», в рамках которой преподается дисциплина.

**Целью** освоения учебной дисциплины «Модели мембранной электрохимии» является развитие профессиональных компетентностей приобретения практических навыков в моделировании задач мембранной электрохимии, реализующих инновационный характер в высшем образовании.

### 1.2 Задачи дисциплины:

- актуализация и развитие знаний в области моделирования сложных систем мембранной электрохимии;
- использование знаний моделирования сложных систем мембранной электрохимии;
- разработка и проектирование моделей мембранной электрохимии.

### 1.3 Место учебной дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Модели мембранной электрохимии» является дисциплиной по выбору вариативной части Блока 1.

Данная дисциплина (Модели мембранной электрохимии) тесно связана с дисциплиной Электрохимическая гидродинамика и с дисциплинами: Модели тепломассопереноса и Асимптотические методы. Она направлена на формирование твердых теоретических знаний и практических умений навыков работы с известными моделями мембранной электрохимии.

Обеспечивает способность у обучающихся к теоретико-методологическому анализу проблем моделирования сложных систем мембранной электрохимии; формирование компетенций при разработке моделей мембранной электрохимии. В совокупности изучение этой дисциплины готовит обучаемых как к различным видам практической экономической деятельности, так и к научно-теоретической, исследовательской деятельности.

Изучение данной дисциплины базируется на математической подготовке студентов, полученной при прохождении ООП бакалавриата, а также на знаниях, полученных в рамках дисциплин математического и естественнонаучного цикла ООП бакалавриата.

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

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения курса «Модели мембранной электрохимии»:

| № п.п. | Индекс компе | Содержание компетенции (или её | В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны |
|--------|--------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|--------|--------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------|

|    | тенции | части)                                                                                                                                      | знать                                                                                                | уметь                                                                                           | владеть                                                                                                                                                 |
|----|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | ПК-1   | способностью проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива | как проводить научные исследования моделей мембранной электрохимии                                   | получать новые научные и прикладные результаты при исследовании моделей мембранной электрохимии | навыками самостоятельно и в составе научного коллектива получать новые научные и прикладные результаты при исследовании моделей мембранной электрохимии |
| 2. | ПК-2   | способностью разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач                           | теоретические основы мембранной электрохимии;<br>□ методы разработки моделей мембранной электрохимии | Анализировать концептуальные и теоретические модели мембранной электрохимии                     | навыками самостоятельной разработки и проектирование моделей мембранной электрохимии                                                                    |

## 2. Структура и содержание дисциплины

### 2.1 Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ

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

| Вид учебной работы                                         | Всего часов | Семестры (часы) |
|------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|
|                                                            |             | 9 семестр       |
| <b>Контактная работа, в том числе:</b>                     |             |                 |
| <b>Аудиторные занятия (всего):</b>                         |             |                 |
| Занятия лекционного типа                                   | 14          | 14              |
| Лабораторные занятия                                       | 14          | 14              |
| Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия) | -           | -               |
|                                                            | -           | -               |
| <b>Иная контактная работа:</b>                             |             |                 |
| Контроль самостоятельной работы (КСР)                      |             |                 |
| Промежуточная аттестация (ИКР)                             | 0,3         | 0,3             |

|                                                                       |                                          |             |             |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------|-------------|
| <b>Самостоятельная работа, в том числе:</b>                           |                                          | <b>53</b>   | <b>53</b>   |
| Курсовая работа                                                       |                                          | -           | -           |
| Проработка учебного (теоретического) материала                        |                                          |             |             |
| Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций) |                                          |             |             |
| Реферат                                                               |                                          | -           | -           |
|                                                                       |                                          |             |             |
| Подготовка к текущему контролю                                        |                                          |             |             |
| <b>Контроль:</b>                                                      |                                          |             |             |
| Подготовка к экзамену                                                 |                                          | 26,7        | 26,7        |
| <b>Общая<br/>трудоемкость</b>                                         | <b>час.</b>                              | <b>108</b>  | <b>108</b>  |
|                                                                       | <b>в том числе<br/>контактная работа</b> | <b>28,3</b> | <b>28,3</b> |
|                                                                       | <b>зач. ед</b>                           | <b>3</b>    | <b>3</b>    |

## 2.2 Структура учебной дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Разделы дисциплины, изучаемые в 11 (В) семестре

| №<br>п/п | Наименование раздела, темы                                                                                   | Всего | Аудиторные занятия |      |      | Сам.<br>работа | Подготовка к экз. |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------|------|------|----------------|-------------------|
|          |                                                                                                              |       | Всего              | Лек. | Лаб. |                |                   |
|          | <b>Раздел 1 Краевые задачи для системы электродиффузионных уравнений. Одномерные задачи</b>                  |       |                    |      |      |                |                   |
| 1.       | Математические модели электромембранных процессов и аппаратов для очистки воды                               | 14    | 4                  | 2    | 2    | 4              |                   |
| 2.       | Алгоритмы численного решения краевых задач для системы одномерных уравнений Нернста-Планка-Пуассона          | 18    | 4                  | 2    | 2    | 4              | 6                 |
| 3.       | Асимптотический анализ краевых задач для систем одномерных уравнений Нернста-Планка-Пуассона                 | 18    | 4                  | 2    | 2    | 4              | 6                 |
|          | <b>Раздел 2 Двумерные математические модели переноса бинарного электролита в электромембранных системах.</b> |       |                    |      |      |                |                   |

|    |                                                                |      |    |    |    |    |      |
|----|----------------------------------------------------------------|------|----|----|----|----|------|
| 4. | Процесс переноса бинарного электролита                         | 18   | 4  | 2  | 2  | 8  | 6    |
| 5. | Модель переноса бинарного электролита в приближении закона Ома | 15   | 4  | 2  | 2  | 8  | 3    |
| 6. | Методы асимптотического решения. Высшие приближения            | 15   | 4  | 2  | 2  | 8  | 3    |
| 7. | Алгоритмы и методы численного решения                          | 14,7 | 4  | 2  | 2  | 8  | 2,7  |
|    | ИКР                                                            | 0,3  |    |    |    |    |      |
|    | Итого:                                                         | 108  | 28 | 14 | 14 | 53 | 26,7 |

### 2.3 Содержание разделов дисциплины:

| № раздела | Наименование раздела/модуля                                                                  | Форма текущего контроля                                                                                                                            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | 2                                                                                            | 4                                                                                                                                                  |
| 1         | Краевые задачи для системы электродиффузионных уравнений. Одномерные задачи.                 | 1. Опрос по результатам индивидуального задания<br>2. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.<br>3. Проверка выполнения лабораторных работ |
| 2         | Двумерные математические модели переноса бинарного электролита в электромембранных системах. | 1. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.<br>2. Резюме, аналитический обзор по проблеме.<br>3. Проверка выполнения лабораторных работ     |

#### 2.3.1 Занятия лекционного типа

| № раздела | Наименование раздела/модуля | Содержание раздела/модуля | Форма текущего контроля |
|-----------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1         | 2                           | 3                         | 4                       |

|   |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                      |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Краевые задачи для системы электродиффузионных уравнений. Одномерные задачи.                 | <p>Тема 1. Математические модели электромембранных процессов и аппаратов для очистки воды</p> <p>Тема 2. Алгоритмы численного решения краевых задач для системы одномерных уравнений Нернста-Планка-Пуассона</p> <p>Тема 3. Асимптотический анализ краевых задач для систем одномерных уравнений Нернста-Планка-Пуассона.</p> | <p>1. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.</p> <p>2. Резюме, аналитический обзор по проблеме.</p>                                                         |
| 2 | Двумерные математические модели переноса бинарного электролита в электромембранных системах. | <p>Тема 1. Процесс переноса бинарного электролита</p> <p>Тема 2. Модель переноса бинарного электролита в приближении закона Ома</p> <p>Тема 3. Методы асимптотического решения. Высшие приближения</p> <p>Тема 4. Алгоритмы и методы численного решения</p>                                                                   | <p>1. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.</p> <p>2. Резюме, аналитический обзор по проблеме.</p> <p>3. Опрос по результатам индивидуального задания.</p> |

### 2.3.2 Семинарские занятия – не предусмотрены

### 2.3.3 Лабораторные занятия

| № п/п | Наименование раздела                                                         | Наименование лабораторных работ                                                                     | Форма текущего контроля                 |
|-------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1.    | Краевые задачи для системы электродиффузионных уравнений. Одномерные задачи. | Математические модели электромембранных процессов и аппаратов для очистки воды                      | Проверка выполнения лабораторной работы |
|       |                                                                              | Алгоритмы численного решения краевых задач для системы одномерных уравнений Нернста-Планка-Пуассона | Проверка выполнения лабораторной работы |
|       |                                                                              | Асимптотический анализ краевых задач для систем одномерных уравнений Нернста-Планка-Пуассона.       | Проверка выполнения лабораторной работы |

|    |                                                                                              |                                                                |                                         |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 2. | Двумерные математические модели переноса бинарного электролита в электромембранных системах. | Процесс переноса бинарного электролита                         | Проверка выполнения лабораторной работы |
|    |                                                                                              | Модель переноса бинарного электролита в приближении закона Ома | Проверка выполнения лабораторной работы |
|    |                                                                                              | Методы асимптотического решения. Высшие приближения            | Проверка выполнения лабораторной работы |
|    |                                                                                              | Алгоритмы и методы численного решения                          |                                         |

### 2.3.4 Курсовые работы – не предусмотрены

## 2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающегося по дисциплине

Целью самостоятельной работы студента является углубление знаний, полученных в результате аудиторных занятий. Вырабатываются навыки самостоятельной работы. Закрепляются опыт и знания полученные во время лабораторных занятий.

|  | Вид самостоятельной работы                                                                                               | Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 2                                                                                                                        | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|  | Проработка и повторение лекционного материала, материала учебной и научной литературы, подготовка к семинарским занятиям | Методические указания для подготовки к лекционным и семинарским занятиям, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №7 от 18.04.2018 г.<br>Методические указания по выполнению самостоятельной работы, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №7 от 18.04.2018 г. |
|  | Подготовка к лабораторным занятиям                                                                                       | Методические указания по выполнению лабораторных работ, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №7 от 18.04.2018 г.                                                                                                                                                                                                                                                    |
|  | Подготовка к решению задач и тестов                                                                                      | Методические указания по выполнению самостоятельной работы, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №7 от 18.04.2018 г.                                                                                                                                                                                                                                                |
|  | Подготовка                                                                                                               | Методические указания для подготовки эссе, рефератов,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|  |                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | докладов                                                | курсовых работ, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №7 от 18.04.2018 г.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|  | Подготовка к решению расчетно-графических заданий (РГЗ) | Методические указания по выполнению расчетно-графических заданий, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №7 от 18.04.2018 г.<br>Методические указания по выполнению самостоятельной работы, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №7 от 18.04.2018 г. |
|  | Подготовка к текущему контролю                          | Методические указания по выполнению самостоятельной работы, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №7 от 18.04.2018 г.                                                                                                                                                                                                                                        |

### 3. Образовательные технологии

С точки зрения применяемых методов используются как традиционные информационно-объяснительные лекции, так и интерактивная подача материала с мультимедийной системой. Компьютерные технологии в данном случае обеспечивают возможность разнопланового отображения алгоритмов и демонстрационного материала. Такое сочетание позволяет оптимально использовать отведенное время и раскрывать логику и содержание дисциплины.

**Лекции** представляют собой систематические обзоры основных аспектов инноваций в оценке экономической деятельности, при этом, студенты получают лишь самые предварительные и общие представления о моделях мембранной электрохимии.

**Лабораторное занятие** позволяет научить студента применять теоретические знания при решении и исследовании конкретных задач. Лабораторные занятия проводятся в компьютерных классах, при этом практикуется работа в группах. Подход разбора конкретных ситуаций широко используется как преподавателем, так и студентами при проведении анализа результатов самостоятельной работы. Это обусловлено тем, что в процессе исследования часто встречаются задачи, для которых единых подходов не существует. Каждая конкретная задача при своем исследовании имеет множество подходов, а это требует разбора и оценки целой совокупности конкретных ситуаций. Этот подход особенно широко используется при определении адекватности математической модели мембранной электрохимии.

**Индивидуальные задания проектного типа** связано с настоящей или будущей профессиональной деятельностью студента. В этом качестве могут использоваться:

- задания на изучение моделей мембранной электрохимии;
- задания на разработку моделей мембранной электрохимии;
- задания на разработку проектной документации для моделей мембранной электрохимии.

**Занятия, проводимые с использованием интерактивных технологий**

| № | Наименование разделов (тем) | Количество часов |
|---|-----------------------------|------------------|
|---|-----------------------------|------------------|

|    |                                                                                              | всего ауд. часов | интерактивные часы |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------|
| 1  | 2                                                                                            | 3                | 4                  |
| 1. | Краевые задачи для системы электродиффузионных уравнений. Одномерные задачи.                 | 8                | 2                  |
| 2. | Двумерные математические модели переноса бинарного электролита в электромембранных системах. | 20               | 6                  |
|    | <i>Итого по дисциплине:</i>                                                                  | 28               | 8                  |

#### **4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины 4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации**

Учебная деятельность проходит в соответствии с графиком учебного процесса. Процесс самостоятельной работы контролируется во время аудиторных занятий и индивидуальных консультаций. Самостоятельная работа студентов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе.

Фонд оценочных средств дисциплины состоит из средств текущего контроля (см. список лабораторных работ, задач и вопросов) и итоговой аттестации (экзамена).

В качестве оценочных средств, используемых для текущего контроля успеваемости, предлагается перечень вопросов, которые прорабатываются в процессе освоения курса. Данный перечень охватывает все основные разделы курса, включая знания, получаемые во время самостоятельной работы. Кроме того, важным элементом технологии является самостоятельное решение студентами и сдача заданий. Это полностью индивидуальная форма обучения. Студент рассказывает свое решение преподавателю, отвечает на дополнительные вопросы.

#### **Задания на лабораторные работы**

#### **4 Алгоритмы и методы численного решения**

1. Численное решение краевой задачи модели переноса бинарного электролита с функцией Хэвисайда.

Задание №1. Произвести преобразование краевой задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией Хэвисайда.

Задание №2. Определить краевые условия задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией Хэвисайда.

Задание №3. Опишите явный метод численного решения краевой задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией Хэвисайда.

Задание №4. Опишите алгоритм численного решения краевой задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией

Хэвисайда.

~

Задание №4. Произвести расчет исходных неизвестных функции  $S$  и  $\Pi$ .

Задание №5. Опишите полунявный метод численного решения краевой задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией Хэвисайда.

Задание №6. Опишите неявный метод (метод итераций) численного решения краевой задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией Хэвисайда.

2. Программное решение краевой задачи модели переноса бинарного электролита с функцией Хэвисайда.

Задание №1. Напишите программу на языке Delphi для решения явным методом краевой задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией Хэвисайда.

Задание №2. Напишите программу на языке Matlab для решения явным методом краевой задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией Хэвисайда.

Задание №3. Напишите программу в системе Comsol для решения краевой задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией Хэвисайда.

Задание №4. Напишите программу на языке Delphi для решения полунявным методом краевой задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией Хэвисайда.

Задание №5. Напишите программу на языке Matlab для решения полунявным методом краевой задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией Хэвисайда.

Задание №6. Напишите программу на языке Delphi для решения неявным методом краевой задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией Хэвисайда.

Задание №7. Напишите программу на языке Matlab для решения неявным методом краевой задачи модели переноса бинарного электролита в мембранных системах с функцией Хэвисайда.

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

##### Перечень вопросов к экзамену

1. Электромембранные аппараты
2. Молекулярная диффузия
3. Электромиграция
4. Сверхпредельный перенос
5. Конвективный перенос
6. Ионоселективная мембрана
7. Перенос тока в растворах электролитов
8. Концентрация электролита в камере обессоливания
9. Поток ионов  $i$ -го типа
10. Иерархическая классификация математических моделей электродиализных аппаратов
11. Одномерная модель конвективной-диффузии
12. Процесс обессоливания раствора бинарного электролита
13. Стационарный перенос бинарного электролита
14. Трехмерные математические модели
15. Разделительная и электродные камеры проточного электрофореза
16. Объяснение принципа разделения горизонтального сечение электрофорезной камеры,
17. Электродные и охлаждающие камеры
18. Уравнение Нернста-Планка
19. Уравнение Навье-Стокса в приближении Буссинеска
20. Уравнение конвективной теплопроводности с учетом Джоулева эффекта
21. Классический подход к решению уравнений мембранной электрохимии
22. Асимптотические методы (метод Пуанкаре, метод усреднения, метод пограничного слоя)
23. Асимптотическая последовательность
24. Асимптотическое разложение сингулярно – возмущенных задачах
25. Методы Л.А. Люстерника и М.И. Вишика
26. Метод ВКБ и преобразование Лангера
27. Теория сингулярных возмущений
28. Метод сращиваемых асимптотических разложений
29. Методы решения сингулярно-возмущенных задач мембранной электрохимии
30. Вывод моделей переноса бинарного электролита в мембранных системах
31. Переход к безразмерному виду в системе электродиффузионных уравнений и оценка безразмерных параметров
32. Декомпозиция системы уравнений Нернста-Планка-Пуассона в безразмерном виде
33. Оценка членов декомпозиционных уравнений и вывод моделей переноса

34. Декомпозиция системы уравнений модели переноса в приближении закона Ома
35. Асимптотический метод решения уравнения для функции  $u$ . Сведение к эталонному уравнению
36. Метод последовательных приближений решения уравнения для функции  $u$ . Сведение к эталонному уравнению
37. Метод Ньютона решения уравнения для функции  $u$ . Сведение к эталонному уравнению
38. Асимптотический метод решения уравнения для обобщенной концентрации
39. Метод последовательных приближений решения уравнения для обобщенной концентрации
40. Асимптотический метод решения уравнения для функции  $\varphi$
41. Метод последовательных приближений решения уравнения для функции  $\varphi$
42. Алгоритм асимптотического решения краевой задачи модели переноса в приближении закона Ома для симметричного электролита
43. Алгоритм итерационного метода решения краевой задачи модели переноса в приближении закона Ома для симметричного электролита
44. Структура иерархической системы математических моделей.
45. Нахождение высших асимптотических разложений краевой задачи модели с функцией Хэвисайда
46. Решение в области пространственного заряда

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

### **5.1 Основная литература:**

1. Дамаскин, Б.Б. Электрохимия / Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий, Г.А. Цирлина. СПб: Лань, 2015. 671 с. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=58166](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=58166).
2. Коваленко А.В. Математическое моделирование физико-химических процессов в среде Comsol Multiphysics 5.2. / Коваленко А.В., Узденова А.М., Уртенев М.Х., Никоненко В.В. СПб.: Изд-во «Лань», 2017. 228 с. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93695>.
3. Узденова, А.М. Математическое моделирование мембранных процессов с использованием Comsol Multiphysics / А.М. Узденова, А.В. Коваленко, М.Х. Уртенев – Карачаевск: КЧГУ, 2012. 180 с.
4. Чубырь, Н.О. Двумерные математические модели переноса бинарного электролита в электромембранных системах (численный и асимптотический анализ) / Чубырь Н.О., Уртенев М.Х., Коваленко А.В. Краснодар: ФГБОУ ВПО «КубГУ», 2012. 131 с.

### **5.2 Дополнительная литература:**

1. Узденова, А.М. Математические модели электроконвекции в электромембранных системах. (монография) / Узденова А.М., Уртенев М.Х., Коваленко А.В. / – Карачаевск: КЧГУ, 2011.- 154 с.
2. Осипов, Ю.В. Компьютерное моделирование нанотехнологий, наноматериалов и наноструктур. Диффузия [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.В. Осипов, М.Б.

Славин. — Электрон. дан. — М. : МИСИС, 2011. — 73 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=47465](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=47465).

## **6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. Multiphysics Modeling and Simulation Software COMSOL Multiphysics [Электронный ресурс] comsol.com
2. COMSOL Multiphysics – программный пакет, предназначенный для конечно-элементного анализа в различных областях физики и инженерного дела. [Электронный ресурс] cae-services.ru
3. Евроинтех - COMSOL Multiphysics - Численное моделирование ... [Электронный ресурс] eurointech.ru/comsol
4. Консультационный центр MATLAB: [Электронный ресурс] matlab.exponenta.ru.
5. Моделирование с COMSOL Multiphysics 4.2. [Электронный ресурс] informatika.hi-edu.ru.
6. Чубырь Н.О Численное решение краевой задачи модели переноса бинарного электролита в приближении закона/ Коваленко А.В., Узденова А.М., Уртенев М.Х., Хромых А.А., Барсукова В. Ю. [Электронный ресурс] // Научный журнал КубГАУ, №77(03), 2012 года. С. 43-58. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/03/pdf/13.pdf>
7. Чубырь Н.О Анализ краевой задачи модели переноса бинарного электролита в приближении закона Ома /Коваленко А.В., Уртенев М.Х., Узденова А.М., Хромых А.А., Барсукова В. Ю.// [Электронный ресурс] Научный журнал КубГАУ, №77(03), 2012 года. С. 1-19. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/03/pdf/33.pdf>.
8. Чубырь Н.О Численное решение краевых задач для квазилинейных уравнений математической физики с функцией Хэвисайда./ Коваленко А.В., Уртенев М.Х, Узденова А.М.// [Электронный ресурс] Современные проблемы науки и образования.

## **7. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

Контрольная работа представляет собой самостоятельную реферативную работу студентов. Каждый студент выполняет работу по одной теме.

Для написания реферата необходимо подобрать литературу. Общее количество литературных источников, включая тексты из Интернета, (публикации в журналах), должно составлять не менее 10 наименований. Учебники, как правило, в литературные источники не входят.

Рефераты выполняют на листах формата А4. Страницы текста, рисунки, формулы нумеруют, рисунки снабжают порисуночными надписями. Текст следует печатать шрифтом №14 с интервалом между строками в 1,5 интервала, без недопустимых сокращений. В конце реферата должны быть сделаны выводы.

В конце работы приводят список использованных источников.

Реферат должен быть подписан студента с указанием даты ее оформления.

Работы, выполненные без соблюдения перечисленных требований, возвращаются на доработку.

Выполненная студентом работа определяется на проверку преподавателю в установленные сроки. Если у преподавателя есть замечания, работа возвращается и после исправлений либо вновь отправляется на проверку, если исправления существенные, либо предъявляется на зачете, где происходит ее защита.

### **Творческие задания (проекты), способствующие формированию компетенций базовой части ООП**

Проведите анализ по одной из выбранных вами тематик (не менее 10 слайдов и 20 листов текста). Возможно использование звукового сопровождения, анимации (аудио-, и видеоматериала).

На первой странице слайда обязательно укажите Ф.И.О. автора, курс.

Оценивается работа по следующим критериям:

- полнота представленного материала;
- оформление;
- представление и защита.

#### **Темы презентаций**

- Презентация «Построение математических моделей переноса бинарного электролита».
- Презентация «Построение эффективных численных и асимптотических методов решения краевых задач соответствующих моделей».

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

### **8.1 Перечень информационных технологий**

1. Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.
2. Использование электронных презентаций при проведении занятий.

### **8.2 Перечень необходимого программного обеспечения**

1. Microsoft Windows 8, 10
2. Microsoft Office Professional Plus
3. Matlab (пакеты fuzzy logic toolbox, Neural Network toolbox, Anfis toolbox, Simulink toolbox)
4. COMSOL COMSOL Multiphysics ClassKit License

### **8.3 Перечень необходимых информационных справочных систем**

1. Википедия, свободная энциклопедия. [Электронный ресурс]. – Wikipedia <http://ru.wikipedia.org>
2. Электронная библиотека КубГУ

## **9. Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины**

| № | Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы | Перечень оборудования и технических средств обучения |
|---|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|---|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|

|    |                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Аудитория, для лекционных занятий                     | Учебная мебель, компьютерная техника, стационарное или переносное мультимедийное оборудование (129, 131, 133, А305, А307, А508, 239А)                                                                                                                                                                                                     |
| 2. | Аудитория, для лабораторных занятий                   | Аудитория для семинарских занятий, укомплектованная необходимой мебелью (доска, столы, стулья) компьютерами с лицензионным программным обеспечением и выходом в интернет (106, 106а, А301, А504, 239А)                                                                                                                                    |
| 3. | Аудитория, для практических занятий                   | Аудитория для семинарских занятий, укомплектованная необходимой мебелью (доска, столы, стулья), презентационной техникой (аудитории: 129, 131, А305, А307, 239А) или переносным демонстрационным оборудованием (аудитории: 133,147, 148, 149, 150, 100С, А3016, А512, А508, 239А)                                                         |
| 4. | Аудитория для групповых и индивидуальных консультаций | Аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, лицензионное программное обеспечение (А504, А506, 239А)                                                                                                   |
| 5. | Текущий контроль, промежуточная аттестация            | Аудитория для семинарских занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованная необходимой мебелью (доска, столы, стулья) (аудитории: 129, 131, 133, А305, А307, 147, 148, 149, 150, 100С, А3016, А512, А508), компьютерами с лицензионным программным обеспечением и выходом в интернет (106, 106а, А301, А504, 239А) |
| 6. | Аудитория для самостоятельной работы                  | Аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, лицензионное программное обеспечение (читальный зал, 102А)                                                                                                |