

**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.08 МОДЕЛИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА**

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 тепломассопереноса» разработана в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика по программе «Математическое моделирование».

Программу составили:

Уртенев М.Х., д-р физ.-мат. наук, профессор  
Коваленко А.В. –кандидат экономических наук, доцент



Рабочая программа дисциплины «Модели тепломассопереноса» утверждена на заседании кафедры прикладной математики протокол № 22 «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 (ИКСИБ) 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.

**Цель** дисциплины «Модели тепломассопереноса» – формирование у студентов системных знаний в области математического моделирования в тепломассопереносе и обеспечение естественнонаучного фундамента для профессиональной подготовки специалиста.

### **1.2 Задачи дисциплины:**

- формирование системных знаний об основных закономерностях тепломассопереноса;
- формирование у студентов навыков самостоятельной аналитической и научно-исследовательской работы;
- развитие у магистров навыков работы с учебной и научной литературой;
- показать связь приближённых и численных методов решения краевых задач тепломассопереноса;
- показать магистрантам возможности современных технических и программных средств для решения исследовательских задач прикладного характера;
- показать возможности современных математических пакетов для моделирования процессов тепломассопереноса.

### **1.3 Место учебной дисциплины в структуре ООП ВО**

Дисциплина «Модели тепломассопереноса» для магистров относится к дисциплинам вариативной части Блока 1 учебного плана. Дисциплина базируется на знаниях, полученных по стандарту высшего образования, и является основой для теоретической подготовки магистров.

Имеется логическая связь высшая математика, дифференциальные уравнения, функциональный анализ, физика, концепции современного естествознания, численные методы, методы оптимизации, программирования и содержательно-методической взаимосвязь с другими частями ООП ВО: математические методы и модели нанотехнологий, модели мембранной электрохимии, теория сложных систем.

В совокупности изучение этой дисциплины готовит обучающихся к различным видам практической, научно-теоретической и исследовательской деятельности.

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

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

| №  | Индекс | Содержание компетенции (или её части)                                                                                                                    | В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны                          |                                                                                                                 |                                                                                                                                         |
|----|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |        |                                                                                                                                                          | знать                                                                                | уметь                                                                                                           | владеть                                                                                                                                 |
| 1. | ПК–2   | способностью разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач                                        | методы разработки моделей теплообмена                                                | анализировать концептуальные и теоретические модели теплообмена                                                 | навыками разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические методы и модели теплообмена                                       |
| .  | ПК-4   | способностью разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач проектной и производственно-технологической деятельности | методы разработки моделей теплообмена в производственно-технологической деятельности | анализировать концептуальные и теоретические модели теплообмена в производственно-технологической деятельности. | навыками разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели теплообмена в производственно-технологической деятельности |

## 2. Структура и содержание дисциплины

### 2.1 Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зач.ед. (72 часа), 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                                   |             |                 |
| Лабораторные занятия                                       | 16          | 16              |
| Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия) | -           | -               |
|                                                            | -           | -               |
| <b>Иная контактная работа:</b>                             |             |                 |
| Контроль самостоятельной работы (КСР)                      |             |                 |
| Промежуточная аттестация (ИКР)                             | 0,2         | 0,2             |

|                                                                          |                                          |             |             |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------|-------------|
| <b>Самостоятельная работа, в том числе:</b>                              |                                          | <b>55,8</b> | <b>55,8</b> |
| Курсовая работа                                                          |                                          | -           | -           |
| Проработка учебного (теоретического) материала                           |                                          |             |             |
| Выполнение индивидуальных заданий<br>(подготовка сообщений, презентаций) |                                          |             |             |
| Реферат                                                                  |                                          | -           | -           |
|                                                                          |                                          |             |             |
| Подготовка к текущему контролю                                           |                                          |             |             |
| <b>Контроль:</b>                                                         |                                          |             |             |
| Подготовка к экзамену                                                    |                                          |             |             |
| <b>Общая<br/>трудоемкость</b>                                            | <b>час.</b>                              | <b>72</b>   | <b>72</b>   |
|                                                                          | <b>в том числе<br/>контактная работа</b> | <b>16,2</b> | <b>16,2</b> |
|                                                                          | <b>зач. ед</b>                           | <b>2</b>    | <b>2</b>    |

## 2.2 Структура учебной дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Разделы дисциплины, изучаемые в 9 семестре

| №<br>раз-<br>дела | Наименование разделов                                                                                                 | Количество часов |                      |      |     |    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------|------|-----|----|
|                   |                                                                                                                       | Всего            | Аудиторная<br>Работа |      |     | СР |
|                   |                                                                                                                       |                  | Лек.                 | Лаб. | КСР |    |
| 1                 | 2                                                                                                                     | 3                | 4                    | 5    | 6   | 7  |
| 1                 | Дифференциальное уравнение<br>тепломассопереноса.                                                                     | 12               |                      | 4    |     | 8  |
| 2                 | Простейшие задачи конвективной<br>тепломассопередачи.                                                                 | 10               |                      | 2    |     | 8  |
| 3                 | Термодиффузия. Выделение и<br>перенос тепла.<br>Тепловыделения на границах<br>раздела. Термогальванические<br>ячейки. | 10               |                      | 2    |     | 8  |
| 4                 | Решение уравнения классическим<br>методом. Методы интегрального<br>преобразования. Методы<br>численного решения.      | 10               |                      | 2    |     | 8  |
| 5                 | Модельное уравнение<br>конвективного переноса.<br>Модельное уравнение диссипации,<br>конвекции и кинетики.            | 12               |                      | 2    |     | 8  |

|          |                                                                                           |            |  |           |  |             |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--|-----------|--|-------------|
| <b>6</b> | Качественные методы<br>теплопереноса в жидкости и<br>газе.                                | <b>10</b>  |  | 2         |  | 8           |
| <b>7</b> | Методы исследования<br>теплопереноса в камере<br>обессоливания электролизного<br>аппарата | <b>9,8</b> |  | 2         |  | 7,8         |
|          | ИКР                                                                                       | <b>0,2</b> |  |           |  |             |
|          | <b>Итого:</b>                                                                             | <b>72</b>  |  | <b>16</b> |  | <b>55,8</b> |

### 2.3 Содержание разделов дисциплины:

| №<br>раздел а | Наименование<br>раздела/модуля                                                                                     | Форма текущего контроля                                                                                                                                     |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | 2                                                                                                                  | 4                                                                                                                                                           |
| 1             | Дифференциальное уравнение<br>теплопереноса.                                                                       | 1. Опрос по результатам<br>индивидуального задания<br>2. Подготовка рефератов,<br>презентаций, выступлений.<br>3. Проверка выполнения<br>лабораторных работ |
| 2             | Простейшие задачи конвективной<br>теплопередачи.                                                                   | 1. Подготовка рефератов,<br>презентаций, выступлений.<br>2. Резюме, аналитический обзор<br>по проблеме.<br>3. Проверка выполнения<br>лабораторных работ     |
| 3             | Термодиффузия. Выделение и<br>перенос тепла. Тепловыделения на<br>границах раздела.<br>Термогальванические ячейки. | Проверка выполнения<br>лабораторных работ                                                                                                                   |
| 4             | Решение уравнения классическим<br>методом. Методы интегрального<br>преобразования.<br>Методы численного решения.   | 1. Подготовка рефератов,<br>презентаций, выступлений.<br>2. Проверка выполнения<br>лабораторных работ                                                       |

|   |                                                                                                   |                                                                                                 |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | Модельное уравнение конвективного переноса. Модельное уравнение диссипации, конвекции и кинетики. | 1. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.<br>2. Проверка выполнения лабораторных работ |
| 6 | Качественные методы тепломассопереноса в жидкости и газе.                                         | 1. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.<br>2. Проверка выполнения лабораторных работ |
| 7 | Методы исследования тепломассопереноса в камере обессоливания электродиализного аппарата          | 1. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.<br>2. Проверка выполнения лабораторных работ |

### 2.3.1 Занятия лекционного типа – не предусмотрены

### 2.3.2 Семинарские занятия – не предусмотрены

### 2.3.3 Лабораторные занятия

| № разд<br>ела | Наименование<br>раздела/модуля                 | Наименование<br>лабораторных<br>работ          | Форма текущего<br>контроля                                                                                                                         |
|---------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | 2                                              |                                                | 4                                                                                                                                                  |
| 1             | Дифференциальное уравнение тепломассопереноса. | Дифференциальное уравнение тепломассопереноса. | 1. Опрос по результатам индивидуального задания<br>2. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.<br>3. Проверка выполнения лабораторных работ |

|   |                                                                                                           |                                                                                                           |                                                                                                                                                |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2 | Простейшие задачи конвективной теплопередачи.                                                             | Простейшие задачи конвективной теплопередачи.                                                             | 1. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.<br>2. Резюме, аналитический обзор по проблеме.<br>3. Проверка выполнения лабораторных работ |
| 3 | Термодиффузия. Выделение и перенос тепла. Тепловыделения на границах раздела. Термогальванические ячейки. | Термодиффузия. Выделение и перенос тепла. Тепловыделения на границах раздела. Термогальванические ячейки. | Проверка выполнения лабораторных работ                                                                                                         |
| 4 | Решение уравнения классическим методом. Методы интегрального преобразования. Методы численного решения.   | Решение уравнения классическим методом. Методы интегрального преобразования. Методы численного решения.   | 1. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.<br>2. Проверка выполнения лабораторных работ                                                |
| 5 | Модельное уравнение конвективного переноса. Модельное уравнение диссипации, конвекции и кинетики.         | Гидродинамическая диссипация                                                                              | 1. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.<br>2. Проверка выполнения лабораторных работ                                                |

|   |                                                                                          |                                                                                          |                                                                                                 |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 | Качественные методы тепломассопереноса в жидкости и газе.                                | Качественные методы тепломассопереноса в жидкости и газе.                                | 1. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.<br>2. Проверка выполнения лабораторных работ |
| 7 | Методы исследования тепломассопереноса в камере обессоливания электродиализного аппарата | Методы исследования тепломассопереноса в камере обессоливания электродиализного аппарата | 1. Подготовка рефератов, презентаций, выступлений.<br>2. Проверка выполнения лабораторных работ |

#### 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 2                                                                                                                      | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1 | Проработка и повторение лекционного материала, материала учебной и научной литературы, подготовка 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. |
| 2 | Подготовка 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.                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 3 | Подготовка                                                                                                             | Методические указания по выполнению                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|   |                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | решению задач и тестов                                  | самостоятельной работы, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №7 от 18.04.2018 г.                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 4 | Подготовка докладов                                     | Методические указания для подготовки эссе, рефератов, курсовых работ, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №7 от 18.04.2018 г.                                                                                                                                                                                                                              |
| 5 | 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. |
| 6 | 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

**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 тепломассопереноса.

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

- задания на математическое моделирование тепломассопереноса; задания на разработку программного продукта для математического моделирования тепломассопереноса;
- задания на разработку проектной документации программного продукта для математического моделирования тепломассопереноса.

**Занятия, проводимые с использованием интерактивных технологий**

| № | Наименование разделов (тем) | Количество часов |                    |
|---|-----------------------------|------------------|--------------------|
|   |                             | всего ауд. часов | интерактивные часы |

| 1  | 2                                                                                                         | 3  | 4 |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---|
| 1. | Дифференциальное уравнение тепломассопереноса.                                                            | 2  |   |
| 2. | Простейшие задачи конвективной тепломассопередачи.                                                        | 2  | 1 |
| 3. | Термодиффузия. Выделение и перенос тепла. Тепловыделения на границах раздела. Термогальванические ячейки. | 2  | - |
| 4. | Решение уравнения классическим методом. Методы интегрального преобразования. Методы численного решения.   | 2  | 1 |
| 5. | Модельное уравнение конвективного переноса. Модельное уравнение диссипации, конвекции и кинетики.         | 4  | 1 |
| 6  | Качественные методы тепломассопереноса в жидкости и газе.                                                 | 2  |   |
| 7  | Методы исследования тепломассопереноса в камере обессоливания электродиализного аппарата                  | 2  | 1 |
|    | <i>Итого по дисциплине:</i>                                                                               | 16 | 4 |

#### **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 (зачета).

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**

### **5 Гидродинамическая диссипация**

Задание №2. Напишите программу в Comsol Multiphysics 4.2 для математического моделирования задачи Рубинштейна (условия в задании 1).

Проведите исследование с разным направлением скоростей. При начальных скоростях  $v_0 = -1e-3[m/s]$ ,  $v_0 = -1e-4[m/s]$ ,  $v_0 = -1e-5[m/s]$ ,

Задание №3. Напишите программу в Comsol Multiphysics 4.3 для математического моделирования задачи Рубинштейна (условия в задании 1).

Проведите исследование с разным направлением скоростей. При начальных скоростях  $v_0 = -1e-3[m/s]$ ,  $v_0 = -1e-4[m/s]$ ,  $v_0 = -1e-5[m/s]$ .

Задание №4. Напишите программу в Comsol Multiphysics 3.5a для математического моделирования задачи Жолковского для короткого канала

1:5. Проведите исследование для  $\Delta x = 100$  и  $\Delta x = 50$ . Время моделирования  $T = 10с, 600с$ .

Задание №5. Напишите программу в Comsol Multiphysics 3.5a для математического моделирования задачи Жолковского для длинного канала 1:20 (условия в задании 4).

Проведите исследование для  $\Delta x = 100$  и  $\Delta x = 100$ .

Время моделирования  $T = 10с, 600с, 3000с$ .

Задание №6. Напишите программу в Comsol Multiphysics 4.2 для математического моделирования задачи Жолковского для короткого канала 1:5 (условия в задании 4).

Проведите исследование для  $\Delta x = 100$  и  $\Delta x = 50$ . Время моделирования  $T = 10с, 600с$ .

Задание №7. Напишите программу в Comsol Multiphysics 4.2 для математического моделирования задачи Жолковского для длинного канала 1:20 (условия в задании 4).

Проведите исследование для  $\Delta x = 100$  и  $\Delta x = 100$ .

Время моделирования  $T = 10с, 600с, 3000с$ .

Задание №8. Напишите программу в Comsol Multiphysics 4.3 для математического моделирования задачи Жолковского для короткого канала 1:5 (условия в задании 4).

Проведите исследование для  $\Delta x = 100$  и  $\Delta x = 50$ . Время моделирования  $T = 10с, 600с$ .

Задание №9. Напишите программу в Comsol Multiphysics 4.3 для математического моделирования задачи Жолковского для длинного канала 1:20 (условия в задании 4).

Проведите исследование для  $\Delta x = 100$  и  $\Delta x = 100$ . Время моделирования  $T = 10с, 600с, 3000с$ .

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

### **Перечень вопросов к зачету**

1. Температурное поле. Основной закон теплопроводности.
2. Распространение тепла в жидких и газовых средах.
3. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
4. Система дифференциальных уравнений тепло и массообмена.
5. Краевые условия в уравнениях тепло- и массообмена.
6. Методы расчета расхода тепла
7. Теплопередача в движущейся жидкости.
8. Простейшие задачи конвективной теплопередачи.

9. Теплопередача в турбулентном потоке.
10. Выделение и перенос тепла.
11. Тепловыделения на границах раздела.
12. Анализ дифференциальных уравнений тепломассопереноса.
13. Методы интегрального преобразования.
14. Методы численного решения краевых задач.
15. Модельное уравнение конвективного переноса.
16. Модельное уравнение диссипации, конвекции и кинетики
17. Численное моделирование процессов тепло- массопереноса на основе уравнений Навь-Стокса
18. Качественные методы теплопереноса в жидкости и газе.
19. Нелинейная теплопроводность
20. Теплопередача при обтекании.
21. Конвекция и диффузия нагретой жидкости
22. Моделирование тепломассопереноса в канале обессоливания электродиализного аппарата для бинарного электролита

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

### **5.1 Основная литература:**

1. Гершанов В.Ю. Нелинейные нестационарные эффекты в процессах массопереноса: монография / В.Ю. Гершанов, С.И. Гармашов. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2014. 114 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445310>.
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 (Учебное пособие) / 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 «КубГТУ», 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 «Решение краевых задач в среде MATLAB».
- Презентация «Решение краевых задач в среде MathCad».
- Презентация «Решение краевых задач в среде Comsol».

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

### **8.1 Перечень информационных технологий**

Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.  
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, А301б, 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, А301б, 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)                                                                                                |