

Министерство образования и науки Российской Федерации  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего профессионального образования  
 «Самарский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
 Проректор по учебной работе

Деморетский Д.А.  
 «31» *август* 2015г.  
 М.П.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.Б.2 Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли.  
 Методы математической физики**

**Направление подготовки** 21.04.01 Нефтегазовое дело

**Квалификация выпускника** магистр

**Профиль (направленность)** Разработка нефтяных месторождений

**Форма обучения** очная

**Выпускающая кафедра** Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений


**Кафедра-разработчик рабочей программы** Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

| Семестр      | Трудо-<br>емкость,<br>час./з.е. | Лекции,<br>час. | Практич.<br>занятия,<br>час. | Лаборат.<br>работы,<br>час. | СРС,<br>час. | Форма промежу-<br>точного контроля<br>(зачет, экзамен,<br>КР, КП) | Контактная работа,<br>час. |                    |
|--------------|---------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------|--------------|---|----------------------------|--------------------|
|              |                                 |                 |                              |                             |              |   | аудитор-<br>ная            | внеауди-<br>торная |
| 1            | 108/3                           | 18              | 18                           | -                           | 72           | Зачет с оценкой   | 36                         | 3                  |
| <b>Итого</b> | <b>108/3</b>                    | <b>18</b>       | <b>18</b>                    | <b>-</b>                    | <b>72</b>    | <b>Зачет с оценкой</b>  | <b>36</b>                  | <b>3</b>           |

Самара  
 2015 г.

Программа разработана в соответствии с требованиями Федерального закона от 27.12.2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», ФГОС ВО по направлению подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело, утвержденный 30.03 2015г. №297, Приказом Минобрнауки России от 19 декабря 2013 г. №1367 «Об утверждении порядка организации осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры» и учебного плана СамГТУ.

Составитель рабочей программы:  
д.ф.-м.н., профессор каф. РЭНГМ  
(должность, ученое звание, степень)


  
\_\_\_\_\_  
(подпись) (ФИО) Астафьев В.И.  
30.08.15  
(дата)

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры:


Разработка и эксплуатация нефтяных и  
газовых месторождений

от 31.08.15 протокол № 1

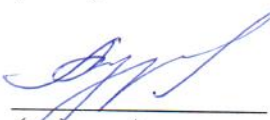
зав. кафедрой-разработчиком

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) (ФИО) Коновалов В.В.  
31.08.15  
(дата)

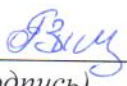
Эксперт методической комиссии по  
УГНП

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) (ФИО) Зиновьев А.М.  
31.08.15  
(дата)

Председатель методического совета  
НТФ

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) (ФИО) Чуркина А.Ю.  
31.08.15  
(дата)

Декан НТФ


  
\_\_\_\_\_  
(подпись) (ФИО) Тянь В.К.  
31.08.15  
(дата)

СОГЛАСОВАНО:

Зав. выпускающей кафедрой

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) (ФИО) Коновалов В.В.  
31.08.15  
(дата)

Начальник УВО

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) (ФИО) Лукьянова А.Н.  
31.08.15  
(дата)

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| 1. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....   | 4  |
| 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП .....   | 5  |
| 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....  | 5  |
| 3.1. Структура дисциплины .....  | 5  |
| 3.2. Содержание дисциплины.....  | 7  |
| 3.3. Практические занятия (семинарские) занятия.....   | 8  |
| 3.4. Лабораторные занятия.....   | 9  |
| 3.5. Самостоятельная работа студента.....  | 9  |
| 4. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....     | 13 |
| 4.1. Список тем, выносимых для самостоятельного изучения.....  | 13 |
| 4.2. Форма представления исходного материала для выполнения индивидуальных расчетных заданий.....          | 14 |
| 4.3. Форма представления исходного материала для выполнения реферата.....                                  | 15 |
| 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....   | 16 |
| 6. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....   | 16 |
| 6.1. Перечень оценочных средств для текущего контроля освоения дисциплины.....                             | 16 |
| 6.2. Состав фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине..... | 16 |
| 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ...   | 17 |
| 7.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы.....  | 17 |
| 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет».....                             | 19 |
| 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....   | 20 |
| Приложение 1.....  | 22 |
| Приложение 2.....  | 23 |
| Приложение 3.....  | 34 |
| Приложение 4.....  | 47 |

## 1. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Результаты освоения ОПОП магистратуры определяются приобретаемыми выпускником компетенциями, т.е. его способностью применять знания, умения и личностные качества в соответствии с задачами профессиональной деятельности.

В результате освоения дисциплины «Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли. Методы математической физики» обучаемый должен обладать следующими компетенциями:

ОПК-1: Способность формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской и практической деятельности.

Планируемые результаты обучения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

| Планируемые результаты освоения ОПОП (компетенции), достижение которых обеспечивает дисциплина* |   | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине**  |
|---|---|--|
| Коды компетенции  | Содержание компетенций  | Знать:<br>Уметь:<br>Владеть:   |
| ОПК-1   | Способность формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской и практической деятельности. | <b>ЗНАТЬ:</b><br>основные принципы математического моделирования процессов в пласте; основные типы уравнений математической физики и методы их решения; основные математические модели, применяемые для описания пластов, содержащих нефть и газ.<br>Шифр: З (ОПК-1) - 1 <sup>1</sup><br><b>УМЕТЬ:</b><br>анализировать возможности применения методов математического моделирования для решения конкретных задач нефтегазовой отрасли.<br>Шифр: У (ОПК-1) - 1 <sup>1</sup><br><b>ВЛАДЕТЬ:</b><br>основными методами математической физики для решения конкретных нефтепромысловых задач подземной механики.<br>Шифр: В (ОПК-1) - 1 <sup>1</sup> |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.Б.2 «Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли. Методы математической физики» относится к базовой части блока 1 учебного плана направления 21.04.01 «Нефтегазовое дело», магистерской программы «Разработка нефтяных месторождений».

Перечень предшествующих и последующих дисциплин, формирующих общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, заявленные в разделе 1, приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Перечень предшествующих и последующих дисциплин

| №                | Наименование компетенции  | Предшествующие дисциплины | Последующие дисциплины  |
|------------------|---|---------------------------|---|
| Профессиональные |   |                           |   |
| 1                | ОПК-1 Способность формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской и практической деятельности. | нет                       | Информационные системы; Научно-исследовательская работа; Государственная итоговая аттестация. |

## 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 3.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единицы (ЗЕТ), 108 академических часа.

| Семестр      | Трудоемкость, час./з.е. | Лекции, час. | Практич. занятия, час. | Лаборат. работы, час. | СРС, час. | Форма промежуточного контроля (зачет, экзамен, КР, КП) | Контактная работа, час. |               |
|--------------|-------------------------|--------------|------------------------|-----------------------|-----------|--|-------------------------|---------------|
|              |                         |              |                        |                       |           |  | аудиторная              | внеаудиторная |
| 1            | 108/3                   | 18           | 18                     | -                     | 72        | Зачет с оценкой  | 36                      | 3             |
| <b>Итого</b> | <b>108/3</b>            | <b>18</b>    | <b>18</b>              | <b>-</b>              | <b>72</b> | <b>Зачет с оценкой</b>                                 | <b>36</b>               | <b>3</b>      |

Таблица 3

### Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы

| Вид учебной работы                           | Всего часов | Семестры |
|--|-------------|----------|
|  |             | 2        |
| <b>Аудиторная контактная работа (всего)</b>  | <b>36</b>   | 36       |
| в том числе: лекции                          | 18          | 18       |
| практические занятия (ПЗ)                    | 18          | 18       |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b>        | <b>72</b>   | 72       |
| в том числе: контактная внеаудиторная работа | 3           | 3        |

|                                    |      |     |     |
|------------------------------------|------|-----|-----|
| самостоятельное изучение материала |      | 13  | 13  |
| подготовка к практическим занятиям |      | 9   | 9   |
| подготовка к зачету                |      | 8   | 8   |
| индивидуальные расчетные задания   |      | 9   | 9   |
| реферативные работы                |      | 30  | 30  |
| ИТОГО:                             | час. | 108 | 108 |
|                                    | з.е. | 3   | 3   |

Таблица 4

**Распределение учебной нагрузки по разделам дисциплины**

| № раздела                       | Наименование<br>раздела дисциплины  | Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы |                         |                        |           |             |
|---------------------------------|---|---|-------------------------|------------------------|-----------|-------------|
|                                 |   | Лекции  | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы | СРС       | Всего часов |
| 1                               | Математическое моделирование гидромеханических процессов                            | 8   | 8                       | -                      | 21        | 37          |
| 2                               | Математическое моделирование процессов транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа | 4   | 4                       | -                      | 19        | 27          |
| 3                               | Методы математической физики  | 6   | 6                       | -                      | 21        | 33          |
| Контактная внеаудиторная работа |   |   |                         |                        | 3         | 3           |
| Подготовка к зачету             |   |   |                         |                        | 8         | 8           |
| <b>ИТОГО</b>                    |   | <b>18</b>                                     | <b>18</b>               | <b>-</b>               | <b>72</b> | <b>108</b>  |

### 3.2. Содержание дисциплины

Таблица 5

| Лекционный курс |               |  |                     |
|-----------------|---------------|--|---------------------|
| № лекции        | Номер раздела | Тема лекции и перечень дидактических единиц  | Трудоемкость, часов |
| 1               | 1             | <b>Тема .1. Введение в математическое моделирование.</b><br>1.1. Определение и назначение моделирования.<br>1.2. Классификация математических моделей.<br>1.3. Этапы построения математической модели.<br>1.4. Примеры математических моделей.   | 2                   |
| 2               | 1             | <b>Тема 2. Основные уравнения фильтрации жидкостей и газов.</b><br>2.1. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности.<br>2.2. Закон сохранения импульса. Уравнение фильтрации.<br>2.3. Закон сохранения энергии. Уравнение теплопроводности.<br>2.4. Уравнения состояния. Линейные и нелинейные законы фильтрации.  | 2                   |
| 3               | 1             | <b>Тема 3. Методы решения задач однофазной фильтрации.</b><br>3.1. Аналитические решения задач однофазной фильтрации. Стационарная и нестационарная фильтрация.<br>3.2. Одномерные и многомерные задачи фильтрации.<br>3.3. Конечно-разностные методы решения задач однофазной фильтрации. Дискретизация по времени и по пространству.   | 2                   |
| 4               | 1             | <b>Тема 4. Методы решения задач многофазной фильтрации.</b><br>4.1. Аналитические методы решения задач многофазной фильтрации.<br>4.2. Конечно-разностные методы решения задач многофазной фильтрации.<br>4.3. Неявная схема для уравнений многофазной фильтрации. Метод совместного решения (SS-метод).<br>4.4. Метод, неявный по давлению и явный по насыщенности (IMPES-метод).   | 2                   |
| 5               | 2             | <b>Тема 5. Математические модели транспортируемых сред.</b><br>5.1. Математические модели жидкости (идеальная и вязкая жидкость, сжимаемая и несжимаемая жидкость, ньютоновская и неньютоновская жидкость).<br>5.2. Математические модели газообразных сплошных сред (совершенный газ, реальный газ).<br>5.3. Математическая модель упругого деформируемого трубопровода.<br>5.4. Ламинарное и турбулентное течение жидкости в трубопроводе. | 2                   |
| 6               | 2             | <b>Тема 6. Математические модели одномерных течений жидкости и газа в трубопроводах.</b><br>6.1. Моделирование и расчет установившихся режимов работы трубопроводов.<br>6.2. Моделирование и расчет неустановившегося течения сжимаемой жидкости в трубопроводе.<br>6.3. Моделирование и расчет неустановившегося течения газа в газопроводе.<br>6.4. Распространение волн в трубопроводах. Гидравлический                                   | 2                   |

|                         |   |  |           |
|-------------------------|---|--|-----------|
|                         |   | удар в трубопроводах.  |           |
| 7                       | 3 | <b>Тема 7. Обыкновенные дифференциальные уравнения в задачах моделирования в нефтегазовой отрасли.</b><br>7.1. Уравнения первого порядка. Общие методы интегрирования.<br>7.2. Линейные уравнения. Общие методы интегрирования.<br>7.3. Линейные уравнения с постоянными коэффициентами. Общие методы интегрирования.<br>7.4. Нелинейные уравнения второго порядка. Фазовая плоскость. Особые точки. Устойчивость решения по Ляпунову.   | 2         |
| 8                       | 3 | <b>Тема 8. Дифференциальные уравнения в частных производных в задачах моделирования в нефтегазовой отрасли.</b><br>8.1. Уравнения первого порядка. Уравнения с двумя переменными. Задача с начальными условиями (задача Коши).<br>8.2. Уравнения второго порядка с двумя переменными. Классификация уравнений. Преобразование уравнений к каноническому виду.<br>8.3. Характеристики уравнения. Решение гиперболических уравнений методом характеристик.<br>8.4. Типичные краевые задачи для уравнений второго порядка | 2         |
| 9                       | 3 | <b>Тема 9. Уравнения математической физики в задачах моделирования в нефтегазовой отрасли.</b><br>9.1. Волновое уравнение. Частные решения для волнового уравнения.<br>9.2. Уравнение Лапласа. Частные решения для уравнения Лапласа.<br>9.3. Уравнение диффузии. Частные решения для уравнения диффузии.  | 2         |
| <b>ИТОГО за семестр</b> |   |  | <b>18</b> |

### 3.3. Практические занятия (семинарские) занятия

Таблица 6

| № занятия | Номер раздела | Наименование практического занятия и перечень дидактических единиц  | Трудоемкость, часов |
|-----------|---------------|---|---------------------|
| 1         | 1             | <b><u>Тема 1. Математическое моделирование гидромеханических процессов</u></b><br>1.1. Плоские установившиеся фильтрационные потоки. Взаимодействие скважин.<br>1.2. Неустановившееся движение сжимаемой жидкости в упругой пористой среде. | 4                   |
| 2         | 1             | <b><u>Тема 1. Математическое моделирование гидромеханических процессов (продолжение)</u></b><br>1.3. Расчет показателей разработки на основе решения Бэкли-Левретта.<br>1.4. Модель вытеснения Раппорта-Лиса.                               | 4                   |
| 3         | 2             | <b><u>Тема 2. Математическое моделирование процессов транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа</u></b><br>2.1. Ламинарное и турбулентное течение вязкой жидкости в круглой трубе.  | 4                   |



|                          |   |  |           |
|--------------------------|---|--|-----------|
|                          |   | 2.2. Нестационарные течения слабо сжимаемой жидкости в трубопроводе.   |           |
| 4                        | 3 | <b>Тема 3. Методы математической физики</b><br>3.1. Решение дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.<br>3.2. Решение волнового уравнения. Метод Даламбера. | 4         |
| 5                        | 3 | <b>Тема 3. Методы математической физики (продолжение)</b><br>3.2. Решение начально-краевых задач для уравнения теплопроводности.   | 2         |
| <b>ИТОГО за семестр:</b> |   |  | <b>18</b> |

### 3.4. Лабораторные занятия

Лабораторные занятия учебным планом не предусмотрены

### 3.5. Самостоятельная работа студента

Таблица 7

| Раздел дисциплины | № п/п | Вид самостоятельной работы студента (СРС) и перечень дидактических единиц  | Трудоемкость, часов |
|-------------------|-------|--|---------------------|
| 1                 | 1     | <b>Самостоятельное изучение материала:</b><br><br><b>Тема 1. Модели однофазной и многофазной фильтрации</b><br>1.1. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности.<br>1.2. Закон сохранения импульса. Уравнение фильтрации.<br>1.3. Закон сохранения энергии. Уравнение теплопроводности.<br>1.4. Уравнения состояния. Линейные и нелинейные законы фильтрации.<br>1.5. Аналитические решения задач однофазной фильтрации. Стационарная и нестационарная фильтрация.<br>1.6. Одномерные и многомерные задачи фильтрации.<br>1.7. Конечно-разностные методы решения задач однофазной фильтрации. Дискретизация по времени и по пространству.<br>1.8. Аналитические методы решения задач многофазной фильтрации.<br>1.9. Конечно-разностные методы решения задач многофазной фильтрации.<br>1.10. Неявная схема для уравнений многофазной фильтрации. Метод совместного решения (SS-метод).<br>1.11. Метод, неявный по давлению и явный по насыщенности (IMPES-метод). | 4                   |
|                   | 2     | <b>Подготовка к практическому занятию № 1. Математическое моделирование гидромеханических процессов</b><br>1. Плоские установившиеся фильтрационные потоки. Взаимодействие скважин.<br>2. Неустановившееся движение сжимаемой жидкости в упругой пористой среде.   | 2                   |
|                   | 3     | <b>Подготовка к практическому занятию № 2. Математическое моделирование гидромеханических процессов (продолжение)</b><br>1. Расчет показателей разработки на основе решения Бэкли-Леверетта.<br>2. Модель вытеснения Раппорта-Лиса.  | 2                   |

|               |   |  |           |
|---------------|---|--|-----------|
|               | 4 | <p><b>Реферативные работы</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Жесткие и мягкие математические модели. Качественные методы исследования дифференциальных уравнений. Математические модели трудноформализуемых объектов. Дифференциальные, интегральные и функциональные уравнения в математическом моделировании.</li> <li>2. Математическое моделирование на основе фундаментальных законов природы. Метод анализа размерностей при построении физических моделей.</li> <li>3. Теплогидродинамические модели сплошных сред. Закономерности развития сред по пространству и времени в условиях неизотермичности и многомасштабности процессов переноса.</li> <li>4. Течение газа в скважинах и сопряженные задачи теплообмена.</li> <li>5. Стационарное неизотермическое течение газа.</li> <li>6. Теплогидродинамическое подобие и метод анализа размерностей в задачах нефтегазовой гидродинамики.</li> <li>7. Использование уравнений макроскопических балансов для решения задач об установившихся течениях.</li> </ol> | 10        |
|               | 5 | <p><b>Индивидуальные расчетные задания</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности.</li> <li>2. Закон сохранения импульса. Уравнение фильтрации.</li> <li>3. Закон сохранения энергии. Уравнение теплопроводности.</li> <li>4. Уравнения состояния. Линейные и нелинейные законы фильтрации.</li> <li>5. Аналитические решения задач однофазной фильтрации. Стационарная и нестационарная фильтрация.</li> <li>6. Одномерные и многомерные задачи фильтрации.</li> <li>7. Конечно-разностные методы решения задач однофазной фильтрации. Дискретизация по времени и по пространству.</li> <li>8. Аналитические методы решения задач многофазной фильтрации.</li> <li>9. Конечно-разностные методы решения задач многофазной фильтрации.</li> <li>10. Неявная схема для уравнений многофазной фильтрации. Метод совместного решения (SS-метод).</li> <li>11. Метод, неявный по давлению и явный по насыщенности (IMPES-метод).</li> </ol>   | 3         |
| <b>Итого:</b> |   |  | <b>21</b> |
| 2             | 6 | <p><b>Самостоятельное изучение материала:</b></p> <p><b>Тема 2. Модели транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Математические модели жидкости (идеальная и вязкая жидкость, сжимаемая и несжимаемая жидкость, ньютоновская и неньютоновская жидкость).</li> <li>2.2. Математические модели газообразных сплошных сред (совершенный газ, реальный газ).</li> <li>2.3. Математическая модель упругого деформируемого трубопровода.</li> <li>2.4. Ламинарное и турбулентное течение жидкости в трубопроводе.</li> <li>2.5. Моделирование и расчет установившихся режимов работы трубопроводов.</li> </ol>  | 4         |

|               |  |           |
|---------------|--|-----------|
|               | <p>2.6. Моделирование и расчет неустановившегося течения сжимаемой жидкости в трубопроводе.</p> <p>2.7. Моделирование и расчет неустановившегося течения газа в газопроводе.</p> <p>2.8. Распространение волн в трубопроводах. Гидравлический удар в трубопроводах.</p>  |           |
| 7             | <p><b>Подготовка к практическому занятию № 3. <u>Математическое моделирование процессов транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа</u></b></p> <p>1. Ламинарное и турбулентное течение вязкой жидкости в круглой трубе.</p> <p>2. Нестационарные течения слабо сжимаемой жидкости в трубопроводе.</p>  | 2         |
|               | <p><b>Реферативные работы</b></p> <p>1. Ламинарное течение в трубопроводе при наличии постоянного теплового потока к ее стенке. Асимптотическое решение для малых расстояний.</p> <p>2. Расчет профилей поля скорости и температуры при установившемся турбулентном течении в трубопроводах с идеально гладкой стенкой.</p> <p>3. Смешение двух потоков идеальных газов в трубопроводе в условиях стационарного турбулентного движения.</p> <p>4. Конвективный массообмен. Диффузия в жидкостях и газах.</p> <p>5. Распределение концентраций в твердых стенках и в ламинарном потоке. Формулировки решений диффузионных задач.</p> <p>6. Сопrotивление и тепломассообмен, сопровождающийся гомогенной и гетерогенной химической реакцией.</p> <p>7. Термодиффузия. Бародиффузия. Динодиффузия. Многокомпонентные системы.</p> <p>8. Теория пограничного слоя. Приближенные методы. Точные решения для одновременного переноса тепла, массы и импульса.</p> <p>9. Современные методы расчета турбулентного течения и теплообмена при граничных условиях 1 и 2 рода для тепловых процессов.</p> | 10        |
| 8             | <p><b>Индивидуальные расчетные задания</b></p> <p>1. Математические модели жидкости (идеальная и вязкая жидкость, сжимаемая и несжимаемая жидкость, ньютоновская и неньютоновская жидкость).</p> <p>2. Математические модели газообразных сплошных сред (совершенный газ, реальный газ).</p> <p>3. Математическая модель упругого деформируемого трубопровода.</p> <p>4. Ламинарное и турбулентное течение жидкости в трубопроводе.</p> <p>5. Моделирование и расчет установившихся режимов работы трубопроводов.</p> <p>6. Моделирование и расчет неустановившегося течения сжимаемой жидкости в трубопроводе.</p> <p>7. Моделирование и расчет неустановившегося течения газа в газопроводе.</p> <p>8. Распространение волн в трубопроводах. Гидравлический удар в трубопроводах.</p>  | 3         |
| <b>Итого:</b> |  | <b>19</b> |

|   |    |  |    |
|---|----|--|----|
| 3 | 9  | <p><b>Самостоятельное изучение материала:</b></p> <p><b>Тема 3. Методы математической физики</b></p> <p>3.1. Уравнения первого порядка. Общие методы интегрирования.</p> <p>3.2. Линейные уравнения. Общие методы интегрирования.</p> <p>3.3. Линейные уравнения с постоянными коэффициентами. Общие методы интегрирования.</p> <p>3.4. Нелинейные уравнения второго порядка. Фазовая плоскость. Особые точки. Устойчивость решения по Ляпунову.</p> <p>3.5. Уравнения первого порядка. Уравнения с двумя переменными. Задача с начальными условиями (задача Коши).</p> <p>3.6. Уравнения второго порядка с двумя переменными. Классификация уравнений. Преобразование уравнений к каноническому виду.</p> <p>3.7. Характеристики уравнения. Решение гиперболических уравнений методом характеристик.</p> <p>3.8. Типичные краевые задачи для уравнений второго порядка</p> <p>3.9. Волновое уравнение. Частные решения для волнового уравнения.</p> <p>3.10. Уравнение Лапласа. Частные решения для уравнения Лапласа.</p> <p>3.11. Уравнение диффузии. Частные решения для уравнения диффузии.</p> | 5  |
|   | 10 | <p><b>Подготовка к практическому занятию № 4. <u>Методы математической физики</u></b></p> <p>1. Решение дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.</p> <p>2. Решение волнового уравнения. Метод Даламбера.</p>   | 2  |
|   | 11 | <p><b>Подготовка к практическому занятию № 5. <u>Методы математической физики (продолжение)</u></b></p> <p>1. Решение начально-краевых задач для уравнения теплопроводности.</p>   | 1  |
|   | 12 | <p><b>Реферативные работы</b></p> <p>1. Численные методы решения краевых задач. Разностные уравнения. Модификация метода прогонки. Решение сопряженных задач.</p> <p>2. Технология численного анализа гидродинамики и теплообмена в трубопроводах переменного поперечного сечения.</p> <p>3. Метод расчета процессов горения многокомпонентной смеси во внутренних системах переменного и постоянного поперечного сечения.</p> <p>4. Алгоритмы и программы решения задач гидродинамики и тепломассопереноса при турбулентном течении с применением моделей турбулентности второго порядка.</p> <p>5. Методы моделирования газовой опасности. Воспламенение смеси и тепловое поражение. Краткий анализ методики расчета локальных и интегральных параметров при сложном течении смесей.</p> <p>6. Сравнительный анализ возможностей использования многопараметрических моделей турбулентности в предсказании низкорейнольдсовых движений в трубах. Выводы и рекомендации.</p>   | 10 |
|   | 13 | <p><b>Индивидуальные расчетные задания</b></p> <p>1. Уравнения первого порядка. Общие методы интегрирования.</p>   | 3  |

|                          |    |  |           |
|--------------------------|----|--|-----------|
|                          |    | 2. Линейные уравнения. Общие методы интегрирования.<br>3. Линейные уравнения с постоянными коэффициентами. Общие методы интегрирования.<br>4. Нелинейные уравнения второго порядка. Фазовая плоскость. Особые точки. Устойчивость решения по Ляпунову.<br>5. Уравнения первого порядка. Уравнения с двумя переменными. Задача с начальными условиями (задача Коши).<br>6. Уравнения второго порядка с двумя переменными. Классификация уравнений. Преобразование уравнений к каноническому виду.<br>7. Характеристики уравнения. Решение гиперболических уравнений методом характеристик.<br>8. Типичные краевые задачи для уравнений второго порядка<br>9. Волновое уравнение. Частные решения для волнового уравнения.<br>10. Уравнение Лапласа. Частные решения для уравнения Лапласа.<br>11. Уравнение диффузии. Частные решения для уравнения диффузии. |           |
| <b>Итого:</b>            |    |  | <b>21</b> |
| 1-3                      | 14 | <b>Контактная внеаудиторная работа</b><br>1. Выдача тем реферативных работ.<br>2. Консультации по написанию реферативных работ.<br>3. Выдача индивидуальных расчетных заданий.<br>4. Консультации по выполнению индивидуальных расчетных заданий.  | <b>3</b>  |
|                          | 15 | <b>Подготовка к зачету</b><br>1. Введение в математическое моделирование.<br>2. Основные уравнения фильтрации жидкостей и газов.<br>3. Методы решения задач однофазной фильтрации.<br>4. Методы решения задач многофазной фильтрации.<br>5. Математические модели транспортируемых сред.<br>6. Математические модели одномерных течений жидкости и газа в трубопроводах.<br>7. Обыкновенные дифференциальные уравнения в задачах моделирования в нефтегазовой отрасли.<br>8. Дифференциальные уравнения в частных производных в задачах моделирования в нефтегазовой отрасли.<br>9. Уравнения математической физики в задачах моделирования в нефтегазовой отрасли.  | <b>8</b>  |
| <b>ИТОГО за семестр:</b> |    |  | <b>72</b> |

#### 4. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

##### 4.1. Список тем, выносимых для самостоятельного изучения

###### Тема 1. Модели однофазной и многофазной фильтрации

**Вопросы:** Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности. Закон сохранения импульса. Уравнение фильтрации. Закон сохранения энергии. Уравнение теплопроводности. Уравнения состояния. Линейные и нелинейные законы фильтрации. Аналитические решения задач однофазной фильтрации. Стационарная и нестационарная фильтрация. Одномерные и многомерные задачи фильтрации. Конечно-разностные методы решения задач однофазной фильтрации. Дискре-

тизация по времени и по пространству. Аналитические методы решения задач многофазной фильтрации. Конечно-разностные методы решения задач многофазной фильтрации. Неявная схема для уравнений многофазной фильтрации. Метод совместного решения (SS-метод). Метод, неявный по давлению и явный по насыщенности (IMPES-метод).

### **Тема 2. Модели транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа**

**Вопросы:** Математические модели жидкости (идеальная и вязкая жидкость, сжимаемая и несжимаемая жидкость, ньютоновская и неньютоновская жидкость). Математические модели газобразных сплошных сред (совершенный газ, реальный газ). Математическая модель упругого деформируемого трубопровода. Ламинарное и турбулентное течение жидкости в трубопроводе. Моделирование и расчет установившихся режимов работы трубопроводов. Моделирование и расчет неустановившегося течения сжимаемой жидкости в трубопроводе. Моделирование и расчет неустановившегося течения газа в газопроводе. Распространение волн в трубопроводах. Гидравлический удар в трубопроводах.

### **Тема 3. Методы математической физики**

**Вопросы:** Уравнения первого порядка. Общие методы интегрирования. Линейные уравнения. Общие методы интегрирования. Линейные уравнения с постоянными коэффициентами. Общие методы интегрирования. Нелинейные уравнения второго порядка. Фазовая плоскость. Особые точки. Устойчивость решения по Ляпунову. Уравнения первого порядка. Уравнения с двумя переменными. Задача с начальными условиями (задача Коши). Уравнения второго порядка с двумя переменными. Классификация уравнений. Преобразование уравнений к каноническому виду. Характеристики уравнения. Решение гиперболических уравнений методом характеристик. Типичные краевые задачи для уравнений второго порядка. Волновое уравнение. Частные решения для волнового уравнения. Уравнение Лапласа. Частные решения для уравнения Лапласа. Уравнение диффузии. Частные решения для уравнения диффузии.

## **4.2. Форма представления исходного материала для выполнения индивидуальных расчетных заданий**

Индивидуальные расчетные задания выдаются преподавателем по 3 разделам курса:

- Математическое моделирование гидромеханических процессов;
- Математическое моделирование процессов транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа;
- Методы математической физики.

Каждое индивидуальное расчетное задание включает в себя решение двух задач по соответствующему разделу.

### **Примерный вид задачи по разделу 1:**

Определить, происходит ли фильтрация в пласте по закону Дарси, если известно, что дебит нефтяной скважины 200 м<sup>3</sup>/сут, мощность пласта 5 м, коэффициент пористости  $\tau = 16\%$ , коэффициент проницаемости 0,2 д, плотность нефти 870 кг/см<sup>3</sup>, вязкость 5 с.п. Скважина гидродинамически совершенна, радиус ее 0,1 м.

### **Примерный вид задачи по разделу 2:**

Перекачка бензина Аи-92 ( $\rho = 750$  кг/м<sup>3</sup>;  $\mu = 0,5$ сПа) ведется по нефтепродуктопроводу ( $D = 530 \times 8$  мм;  $\Delta = 0,22$  мм) с расходом 1100 м<sup>3</sup>/ч. Определить режим течения и коэффициент гидравлического сопротивления.

### **Примерный вид задачи по разделу 3:**

Найти общий интеграл дифференциального уравнения. (Ответ представить в виде  $\psi(x, y) = C$ ).

$$y'y\sqrt{\frac{1-x^2}{1-y^2}} + 1 = 0.$$

### 4.3. Форма представления исходного материала для выполнения реферата

#### **Примерный перечень тем реферативных работ 1 раздела курса:**

1. Жесткие и мягкие математические модели. Качественные методы исследования дифференциальных уравнений. Математические модели трудноформализуемых объектов. Дифференциальные, интегральные и функциональные уравнения в математическом моделировании.
2. Математическое моделирование на основе фундаментальных законов природы. Метод анализа размерностей при построении физических моделей.
3. Теплогидродинамические модели сплошных сред. Закономерности развития сред по пространству и времени в условиях неизотермичности и многомасштабности процессов переноса.
4. Течение газа в скважинах и сопряженные задачи теплообмена.
5. Стационарное неизотермическое течение газа.
6. Теплогидродинамическое подобие и метод анализа размерностей в задачах нефтегазовой гидродинамики.
7. Использование уравнений макроскопических балансов для решения задач об установившихся течениях.

#### **Примерный перечень тем реферативных работ 2 раздела курса:**

1. Ламинарное течение в трубопроводе при наличии постоянного теплового потока к ее стенке. Асимптотическое решение для малых расстояний.
2. Расчет профилей поля скорости и температуры при установившемся турбулентном течении в трубопроводах с идеально гладкой стенкой.
3. Смещение двух потоков идеальных газов в трубопроводе в условиях стационарного турбулентного движения.
4. Конвективный массообмен. Диффузия в жидкостях и газах.
5. Распределение концентраций в твердых стенках и в ламинарном потоке. Формулировки решений диффузионных задач.
6. Сопротивление и тепломассообмен, сопровождающийся гомогенной и гетерогенной химической реакцией.
7. Термодиффузия. Бародиффузия. Динодиффузия. Многокомпонентные системы.
8. Теория пограничного слоя. Приближенные методы. Точные решения для одновременного переноса тепла, массы и импульса.
9. Современные методы расчета турбулентного течения и теплообмена при граничных условиях 1 и 2 рода для тепловых процессов.

#### **Примерный перечень тем реферативных работ 3 раздела курса:**

1. Численные методы решения краевых задач. Разностные уравнения. Модификация метода прогонки. Решение сопряженных задач.
2. Технология численного анализа гидродинамики и теплообмена в трубопроводах переменного поперечного сечения.
3. Метод расчета процессов горения многокомпонентной смеси во внутренних системах переменного и постоянного поперечного сечения.
4. Алгоритмы и программы решения задач гидродинамики и тепломассопереноса при турбулентном течении с применением моделей турбулентности второго порядка.
5. Методы моделирования газовой опасности. Воспламенение смеси и тепловое поражение. Краткий анализ методики расчета локальных и интегральных параметров при сложном течении смесей.
6. Сравнительный анализ возможностей использования много-параметрических моделей турбулентности в предсказании низкорейнольдсовых движений в трубах. Выводы и рекомендации.

Всего выполняется студентами 3 реферативных работы по одной на каждый раздел изучаемой дисциплины. Темы реферативных работ назначаются преподавателем или предлагаются

студентами. Выполнение реферативной работы осуществляется согласно ГОСТ 7.9-95 (ИСО 214-76) «Реферат и аннотация». Реферативная работа адаптируется применительно к теме намечаемой магистерской выпускной квалификационной работы.

Методические указания в т.ч. Для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины приводятся в Приложении 2 и Приложении 3 к рабочей программе.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В учебном процессе применяются пассивные (лекции) и активные (практические занятия) образовательные технологии. Использование интерактивных образовательных технологий учебным планом по данной дисциплине не предусмотрено.

## **6. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Перечень оценочных средств для текущего контроля освоения дисциплины**

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы преподавателем, ведущим практические занятия по дисциплине, в форме оценки работы на практических занятиях.

### **6.2. Состав фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Промежуточная аттестация по дисциплине по итогам семестра проходит в форме устного зачета с оценкой (включает в себя ответ на 2 теоретических вопросов).

**Перечень вопросов для подготовки к устному зачету с оценкой (включает в себя ответ на 2 теоретических вопроса)**

1. Определение и назначение моделирования.
2. Классификация математических моделей.
3. Этапы построения математической модели.
4. Примеры математических моделей.
5. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности.
6. Закон сохранения импульса. Уравнение фильтрации.
7. Закон сохранения энергии. Уравнение теплопроводности.
8. Уравнения состояния. Линейные и нелинейные законы фильтрации.
9. Аналитические решения задач однофазной фильтрации. Стационарная и нестационарная фильтрация.
10. Одномерные и многомерные задачи фильтрации.
11. Конечно-разностные методы решения задач однофазной фильтрации. Дискретизация по времени и по пространству.
12. Аналитические методы решения задач многофазной фильтрации.
13. Конечно-разностные методы решения задач многофазной фильтрации.
14. Неявная схема для уравнений многофазной фильтрации. Метод совместного решения (SS-метод).
15. Метод, неявный по давлению и явный по насыщенности (IMPES-метод).
16. Математические модели жидкости (идеальная и вязкая жидкость, сжимаемая и несжимаемая жидкость, ньютоновская и неньютоновская жидкость).



17. Математические модели газообразных сплошных сред (совершенный газ, реальный газ).
18. Математическая модель упругого деформируемого трубопровода.
19. Ламинарное и турбулентное течение жидкости в трубопроводе.
20. Моделирование и расчет установившихся режимов работы трубопроводов.
21. Моделирование и расчет неустановившегося течения сжимаемой жидкости в трубопроводе.
22. Моделирование и расчет неустановившегося течения газа в газопроводе.
23. Распространение волн в трубопроводах. Гидравлический удар в трубопроводах.
24. Уравнения первого порядка. Общие методы интегрирования.
25. Линейные уравнения. Общие методы интегрирования.
26. Линейные уравнения с постоянными коэффициентами. Общие методы интегрирования.
27. Нелинейные уравнения второго порядка. Фазовая плоскость. Особые точки. Устойчивость решения по Ляпунову.
28. Уравнения первого порядка. Уравнения с двумя переменными. Задача с начальными условиями (задача Коши).
29. Уравнения второго порядка с двумя переменными. Классификация уравнений. Преобразование уравнений к каноническому виду.
30. Характеристики уравнения. Решение гиперболических уравнений методом характеристик.
31. Типичные краевые задачи для уравнений второго порядка
32. Волновое уравнение. Частные решения для волнового уравнения.
33. Уравнение Лапласа. Частные решения для уравнения Лапласа.
34. Уравнение диффузии. Частные решения для уравнения диффузии.
35. Плоские установившиеся фильтрационные потоки. Взаимодействие скважин.
36. Неустановившееся движение сжимаемой жидкости в упругой пористой среде.
37. Расчет показателей разработки на основе решения Бэкли-Левретта.
38. Модель вытеснения Раппорта-Лиса.
39. Ламинарное и турбулентное течение вязкой жидкости в круглой трубе.
40. Нестационарные течения слабо сжимаемой жидкости в трубопроводе.
41. Решение дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.
42. Решение волнового уравнения. Метод Даламбера.
43. Решение начально-краевых задач для уравнения теплопроводности.

Фонд оценочных средств, перечень заданий для проведения промежуточной аттестации, а также методические указания для проведения промежуточной аттестации приводятся в Приложении 4 к рабочей программе.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

*Таблица 8*

#### **Основная литература**

| № п/п | Учебник, учебное пособие (приводится библиографическое описание учебника, учебного пособия)   | Ресурс НТБ СамГТУ                                |
|-------|---|--|
| 1.    | Павлова, Г. А. Обыкновенные дифференциальные уравнения [Электронный ресурс] : практикум. Ч. 1 / Г. А. Павлова, С. В. Горбунов ; Самар. гос. техн. ун-т, Прикладная математика и информатика. - Электрон. дан. - Самара : [б. и.], 2012. - 52 с. | Электронная библиотека трудов сотрудников СамГТУ |

|     |   |   |
|-----|---|---|
| 2   | Павлова Г.А. Обыкновенные дифференциальные уравнения [Электронный ресурс] : практикум. Ч. 2 / Г. А. Павлова, Т.А. Бенгина, С. В. Горбунов ; Самар.гос.техн.ун-т, Прикладная математика и информатика. - Электрон. дан. - Самара : [б. и.], 2013 | Электронная библиотека трудов сотрудников СамГТУ                      |
| 3.. | Введение в математическое моделирование [Текст]: учеб. пособие / под ред. П. В. Трусова. - М.: Логос, 2014. - 439 с.  | Электронный каталог НТБ СамГТУ (печатные издания)                     |
| 4.  | Лурье, М.В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа комплекса [Текст]: учеб. пособие / М.В. Лурье – М.: ИЦ РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2012. - 456 с. ISBN 978-5-91961-060-1      | Электронная нефтегазовая библиотека РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина |

Таблица 9

## Дополнительная литература

| № п/п | Учебник, учебное пособие, монография, справочная литература (приводится библиографическое описание)   | Ресурс НТБ СамГТУ   |
|-------|---|---|
| 1.    | Курилова, О. Е. Уравнения математической физики [Электронный ресурс] : практикум. Ч. 1 / О. Е. Курилова, Е. А. Просвиркина ; Самар.гос.техн.ун-т, Прикладная математика и информатика. - Электрон. дан. - Самара : [б. и.], 2010. - 49 с. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации | Электронная библиотека трудов сотрудников СамГТУ                      |
| 2.    | Уравнения математической физики [Электронный ресурс] : практикум. Ч. 11 / О. Е. Курилова, Е. А. Просвиркина ; Самар.гос.техн.ун-т, Прикладная математика и информатика. - Ч. 11-2012-81с  | Электронный каталог НТБ СамГТУ  |
| 3.    | Лурье, М.В. Задачник по трубопроводному транспорту нефти, нефтепродуктов и газа [Текст]: учеб. пособие / М.В. Лурье. - М.: ИЦ РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2011. - 336 с.   | Электронная нефтегазовая библиотека РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина |
| 4.    | Изучение закономерностей фильтрации газированной жидкости в пористой среде [Электронный ресурс] : метод. указания / Самар.гос.техн.ун-т, Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений ; сост.: В. А. Ольховская, Н. Р. Сивков . - Электрон. дан. - Самара : [б. и.], 2009. - 19 с.      | Электронная библиотека трудов сотрудников СамГТУ                      |
| 5.    | Математическое моделирование в естествознании [Электронный ресурс] : практикум / В. П. Радченко, С. Н. Кубышкина ; Самар.гос.техн.ун-т, Прикладная математика и информатика. - Электрон. дан. - Самара : [б. и.], 2013. - 59 с.   | Электронная библиотека трудов сотрудников СамГТУ                      |
| 6.    | Каневская Р.Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с проведением гидравлического разрыва пласта: учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2006. – 36 с.   | Электронная нефтегазовая библиотека РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина |

|    |  |   |
|----|--|---|
| 7  | Сухарев, М.Г., Арсеньев-Образцов, С.С., Жукова, Т.М. Основы математического и компьютерного моделирования в задачах нефтегазового комплекса [Текст]: учеб. пособие / М.Г Сухарев, С.С. Арсеньев-Образцов, Т.М. Жукова - М.: МАКС Пресс, 2010. - 120 с. | Электронная нефтегазовая библиотека РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина |
| 8  | Гливенко Е.В. Параллельный процессор первичной обработки информации (Текст \ Е.В. Гливенко.- М.: Радио и связь, 1992.- 104с.:ил.-ISBN 5-256-00997-4 Электронный каталог НТБ СамГТУ   | Электронный каталог НТБ СамГТУ  |
| 9  | Ольховская В.А. Подземная гидромеханика. Фильтрация не-ньютоновской нефти. Текст: Уч. Пособие\ Ольховская В.А.- М.: ВНИИОЭНГ, 2011.-221с.- ISBN978-588595-168-5  | Электронный каталог НТБ СамГТУ  |
| 10 | Современные вероятностные подходы при решении задач микро и макро уровня в нефтегазовой отрасли (Текст): Уч. Пособие\ В.В. Кадет, Я.И. Хургин.-М.; Ижевск:Регуляр.и хаот. Динамика,2006. 239с.:ил.- ISBN5-93972-5622-7                                 | Электронный каталог НТБ СамГТУ  |

### Периодические издания

1. ВЕСТНИК САМАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. Сер. Технические науки [Текст]: науч. журн./ СамГТУ - Самара: 1994 - Выходит ежеквартально.
2. ВЕСТНИК САМАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. Сер. Физико-математические науки [Текст]: науч. журн./ СамГТУ - Самара: 1996 - Выходит дважды в год.
3. НЕФТЯНОЕ ХОЗЯЙСТВО [Текст]: ежемес. науч.-техн. и произв. журн. - М.: 1931. - Выходит ежемесячно.
4. ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. НЕФТЬ И ГАЗ [Текст]: науч. -техн. журн. / ТюмГНГУ - Тюмень: 1997. – Выходит один раз в два месяца.
5. НЕФТЯНОЕ ХОЗЯЙСТВО [Текст]: науч.-техн. и произв. журн. / М.: 1920. - Выходит ежемесячно.
6. НЕФТЕГАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ [Текст]: пер. изд. журн. Oil & Gas Technology. США / Gulf Publishing Company. - М.: 1980. - Выходит ежемесячно
7. ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ НЕФТИ [Текст]: науч. -техн. журн. / ОАО "Транснефть". - М.: 2001. - Выходит ежемесячно
8. НЕФТЬ. ГАЗ. НОВАЦИИ [Текст]: науч.-техн. журн. / Агни. - Самара: 2009. - Выходит ежемесячно

### 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет».

- <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - НЭБ - Научная электронная библиотека;  
<https://www.onepetro.org/> - Электронный ресурс Social Petroleum Engineering;  
<http://www.sciencedirect.com/> - Электронный ресурс ScienceDirect;  
<http://www.scopus.com/> - Scopus база данных рефератов и цитирования;  
<http://link.springer.com/> - Мировая интерактивная база данных SpringerLink;  
<http://www.taylorandfrancis.com/info/permissions/> - международное книжное издательство;  
<http://www.ngv.ru/> - Журнал "Нефтегазовая вертикаль";  
<http://www.oil-industry.ru/> - Научно-технический и производственный журнал «Нефтяное хозяйство»;  
<http://www.tehlit.ru/> - ГОСТ. Техническая литература;  
<http://www.knigafund.ru/> - Электронная библиотечная система «КнигаФонд»;

<http://e.lanbook.com/> - Электронная библиотечная система «Лань»;

<http://www.iprbookshop.ru/> - Электронная библиотечная система IPRbooks;

<http://elib.gubkin.ru/> - Электронная нефтегазовая библиотека РГУ нефти и газа им. Губкина;

<http://irbis.samgtu.local/> - Электронная библиотека трудов сотрудников СамГТУ.

Сайты научно-технической библиотеки ФГБОУ СамГТУ

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1. Лекционные занятия:

- Лекционная аудитория (208 ауд./ 9 корпус), оборудованная мультимедийными средствами обучения: проектор Beng MX 620 DLP 3000 ANSI 1300:1, экран настенный рулонный 4:3, моноблок Dell, оснащенная учебной мебелью: столы, стулья для обучающихся; стол, стул для преподавателя; доска.

### 2. Практические занятия:

- помещение (210 ауд./ 9 корпус), оснащенное учебной мебелью: столы, стулья для обучающихся; стол, стул для преподавателя; доска.

### 3. Прочее:

- рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
- рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде;
- ресурсы информационно-вычислительных центров СамГТУ;
- ресурсы научно-технической библиотеки СамГТУ.

**Дополнения и изменения в рабочей программе  
дисциплины на 20\_\_/20\_\_ уч.г.**

Внесенные изменения на 20\_\_/20\_\_ учебный год

**УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе**

(подпись, расшифровка подписи)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20... г

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

.....;  
.....

или делается отметка о нецелесообразности внесения каких-либо изменений на данный учебный год

Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры

\_\_\_\_\_ (дата, номер протокола заседания кафедры, подпись зав. кафедрой).

ОДОБРЕНА на заседании методической комиссии факультета " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г."

Эксперты методической комиссии по УГНП

\_\_\_\_\_ шифр наименование личная подпись расшифровка подписи дата

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий выпускающей кафедрой \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ наименование кафедры личная подпись расшифровка подписи дата

Декан \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ наименование факультета, где производится обучение, личная подпись расшифровка подписи дата

Начальник УВО \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ личная подпись расшифровка подписи дата

**АННОТАЦИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина Б1.Б.2 «Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли. Методы математической физики» относится к базовой части блока 1 учебного плана направления 21.04.01 «Нефтегазовое дело», магистерских программ «Трубопроводный транспорт углеводородов», «Строительство наклоннонаправленных и горизонтальных скважин», «Разработка нефтяных месторождений». Дисциплина реализуется на нефтетехнологическом факультете Самарского государственного технического университета кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Дисциплина нацелена на формирование общепрофессиональной компетенции ОПК-1: Способность формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской и практической деятельности.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с теорией и практикой применения математического аппарата для описания реальных процессов и решения производственных задач в нефтегазовом деле.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента, консультации.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости в форме оценки работы на практических занятиях и промежуточный контроль в форме зачета с оценкой, который проводится в форме ответов в устной форме.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия – 18 часов, практические занятия – 18 часов, самостоятельная работа студента – 72 часа, в том числе контактная внеаудиторная работа – 3 часа (консультации) и 8 часов для подготовки к зачету.

*Приложение 2*

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ»**

### **1. Виды самостоятельной работы по дисциплине**

Целью самостоятельной работы по дисциплине является выполнение магистрантами большой индивидуальной работы, связанной с осмыслением теоретического материала по темам лекций и практических занятий, с умением использовать теоретические знания при решении задач на практических занятиях, при выполнении курсовой работы и т.п.

В образовательном процессе СамГТУ применяются два вида самостоятельной работы:

- аудиторная – под руководством преподавателя и по его заданию;
- внеаудиторная – по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

В рамках дисциплины предусмотрено выполнение самостоятельной работы без участия преподавателей:

- Самостоятельное изучение материала;
- Подготовка к практическим занятиям;
- Индивидуальные расчетные задания;
- Реферат.

Контроль выполнения самостоятельной работы осуществляется путем устных опросов на практических занятиях. Кроме того, учебным планом и рабочей программой предусмотрена внеаудиторная контактная самостоятельная работа в форме консультаций при подготовке к практическим занятиям, реферата и патентных исследований.

### **2. Подготовка к практическим занятиям**

#### **2.1. Общие сведения**

Подготовка к практическим занятиям предполагает проработку теоретического материала по лекциям, учебниками, первоисточниками, дополнительной литературе, периодическим изданиям, ресурсам сети Интернет и проч.

При изучении нового материала на лекциях, освещаются наиболее важные и сложные вопросы учебной дисциплины, вводится новый фактический материал. Поэтому к каждому практическому занятию студенты готовятся по следующей схеме:

- разобраться с основными положениями соответствующей темы, разобранными на лекциях;
- найти и изучить дополнительный материал по соответствующей теме по учебникам, первоисточникам, дополнительной литературе, периодическим изданиям, ресурсам сети Интернет и проч.

Работа с дополнительной учебной и научной литературой включает в себя составление плана текста; графическое изображение структуры текста; конспектирование текста; выписки из текста; работу со словарями и справочниками; ознакомление с нормативными документами; конспектирование научных статей заданной тематики.

#### **2.2. Перечень тем для подготовки к практическим занятиям**

##### **Подготовка к практическому занятию № 1. Математическое моделирование гидромеханических процессов**

1. Плоские установившиеся фильтрационные потоки. Взаимодействие скважин.
2. Неустановившееся движение сжимаемой жидкости в упругой пористой среде.

##### **Подготовка к практическому занятию № 2. Математическое моделирование гидромеханических процессов (продолжение)**

1. Расчет показателей разработки на основе решения Бэкли-Леверетта.
2. Модель вытеснения Раппорта-Лиса.

### **Подготовка к практическому занятию № 3. Математическое моделирование процессов транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа**

1. Ламинарное и турбулентное течение вязкой жидкости в круглой трубе.
2. Нестационарные течения слабо сжимаемой жидкости в трубопроводе.

### **Подготовка к практическому занятию № 4. Методы математической физики**

1. Решение дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.
2. Решение волнового уравнения. Метод Даламбера.

### **Подготовка к практическому занятию № 5. Методы математической физики (продолжение)**

1. Решение начально-краевых задач для уравнения теплопроводности.

Подробный перечень дидактических единиц по рассматриваемым вопросам приведён в разделе 3.2 Рабочей программы. Данные вопросы включены в Перечень вопросов для подготовки к экзамену по дисциплине, приводимый в разделе 6.2 Рабочей программы.

### **2.3. Требования к представлению и оформлению результатов подготовки к практическим занятиям**

Результатом выполненной самостоятельной работы по подготовке к практическим занятиям по дисциплине является, в первую очередь, конспект (краткое изложение) изученного теоретического материала по темам практических занятий. Особых требований к оформлению конспекта нет, кроме соответствия представленного материала вопросам для подготовки к практическим занятиям.

Одним из видов представления результатов выполнения самостоятельной работы, позволяющей студенту более полно освоить учебный материал, является подготовка сообщений (докладов) по темам практических занятий. Для иллюстрации текста доклада рекомендуется создание презентации. Создание презентации состоит из трех этапов:

- планирование презентации – многошаговая процедура, включающая определение целей, изучение аудитории, формирование структуры и логики подачи материала;
- разработка презентации – методологические особенности подготовки слайдов презентации, включая вертикальную и горизонтальную логику, содержание и соотношение текстовой и графической информации;
- репетиция презентации – проверка и отладка созданной презентации.

Подготовка доклада и презентации производится по инициативе самого обучающегося.

## **3. Самостоятельное изучение материала**

Учебной программой предусмотрено самостоятельное изучение материала курса «Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли. Методы математической физики» по следующим темам:

### **Тема 1. Модели однофазной и многофазной фильтрации**

- 1.1. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности.
- 1.2. Закон сохранения импульса. Уравнение фильтрации.
- 1.3. Закон сохранения энергии. Уравнение теплопроводности.
- 1.4. Уравнения состояния. Линейные и нелинейные законы фильтрации.
- 1.5. Аналитические решения задач однофазной фильтрации. Стационарная и нестационарная фильтрация.
- 1.6. Одномерные и многомерные задачи фильтрации.



- 1.7. Конечно-разностные методы решения задач однофазной фильтрации. Дискретизация по времени и по пространству.
- 1.8. Аналитические методы решения задач многофазной фильтрации.
- 1.9. Конечно-разностные методы решения задач многофазной фильтрации.
- 1.10. Неявная схема для уравнений многофазной фильтрации. Метод совместного решения (SS-метод).
- 1.11. Метод, неявный по давлению и явный по насыщенности (IMPES-метод).

## **Тема 2. Модели транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа**

- 2.1. Математические модели жидкости (идеальная и вязкая жидкость, сжимаемая и несжимаемая жидкость, ньютоновская и неньютоновская жидкость).
- 2.2. Математические модели газообразных сплошных сред (совершенный газ, реальный газ).
- 2.3. Математическая модель упругого деформируемого трубопровода.
- 2.4. Ламинарное и турбулентное течение жидкости в трубопроводе.
- 2.5. Моделирование и расчет установившихся режимов работы трубопроводов.
- 2.6. Моделирование и расчет неустановившегося течения сжимаемой жидкости в трубопроводе.
- 2.7. Моделирование и расчет неустановившегося течения газа в газопроводе.
- 2.8. Распространение волн в трубопроводах. Гидравлический удар в трубопроводах.

## **Тема 3. Методы математической физики**

- 3.1. Уравнения первого порядка. Общие методы интегрирования.
- 3.2. Линейные уравнения. Общие методы интегрирования.
- 3.3. Линейные уравнения с постоянными коэффициентами. Общие методы интегрирования.
- 3.4. Нелинейные уравнения второго порядка. Фазовая плоскость. Особые точки. Устойчивость решения по Ляпунову.
- 3.5. Уравнения первого порядка. Уравнения с двумя переменными. Задача с начальными условиями (задача Коши).
- 3.6. Уравнения второго порядка с двумя переменными. Классификация уравнений. Преобразование уравнений к каноническому виду.
- 3.7. Характеристики уравнения. Решение гиперболических уравнений методом характеристик.
- 3.8. Типичные краевые задачи для уравнений второго порядка
- 3.9. Волновое уравнение. Частные решения для волнового уравнения.
- 3.10. Уравнение Лапласа. Частные решения для уравнения Лапласа.
- 3.11. Уравнение диффузии. Частные решения для уравнения диффузии.

## **Список рекомендуемой литературы:**

1. Павлова, Г. А. Обыкновенные дифференциальные уравнения [Электронный ресурс] : практикум. Ч. 1 / Г. А. Павлова, С. В. Горбунов ; Самар.гос.техн.ун-т, Прикладная математика и информатика. - Электрон. дан. - Самара : [б. и.], 2012. - 52 с.
2. Курилова, О. Е. Уравнения математической физики [Электронный ресурс] : практикум. Ч. 1 / О. Е. Курилова, Е. А. Просвиркина ; Самар.гос.техн.ун-т, Прикладная математика и информатика. - Электрон. дан. - Самара : [б. и.], 2012. - 49 с. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации
3. Введение в математическое моделирование [Текст]: учеб. пособие / под ред. П. В. Трусова. - М.: Логос, 2014. - 439 с.
4. Введение в математическое моделирование [Текст]: учеб. пособие / под ред. П. В. Трусова. - М.: Логос, 2014. - 439 с.
5. Лурье, М.В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа комплекса [Текст]: учеб. пособие / М.В. Лурье – М.: ИЦ РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2012. - 456 с.
6. Ольховская, В.А. Подземная гидромеханика. Фильтрация неньютоновской нефти [Текст]: учеб. пособие / В.А. Ольховская. - М.: ВНИИОЭНГ, 2011. - 221 с.

7. Курилова, О. Е. Уравнения математической физики [Электронный ресурс] : практикум. Ч. 1 / О. Е. Курилова, Е. А. Просвиркина ; Самар.гос.техн.ун-т, Прикладная математика и информатика. - Электрон. дан. - Самара : [б. и.], 2010. - 49 с. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации
8. Параллельный процессор первичной обработки информации [Текст] / Е. В. Гливенко. - М. : Радио и связь, 1992. - 104 с. : ил. - ISBN 5-256-00997-4
9. Лурье, М.В. Задачник по трубопроводному транспорту нефти, нефтепродуктов и газа [Текст]: учеб. пособие / М.В. Лурье. - М.: ИЦ РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2011. - 348 с.
10. Изучение закономерностей фильтрации газированной жидкости в пористой среде [Электронный ресурс] : метод. указания / Самар.гос.техн.ун-т, Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений ; сост.: В. А. Ольховская, Н. Р. Сивков . - Электрон. дан. - Самара : [б. и.], 2009. - 19 с.
11. Математическое моделирование в естествознании [Электронный ресурс] : практикум / В. П. Радченко, С. Н. Кубышкина ; Самар.гос.техн.ун-т, Прикладная математика и информатика. - Электрон. дан. - Самара : [б. и.], 2013. - 59 с.
12. Каневская Р.Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с проведением гидравлического разрыва пласта: учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2006. – 36 с.
13. Павлова, Г. А. Обыкновенные дифференциальные уравнения [Электронный ресурс] : практикум. Ч. 1 / Г. А. Павлова, С. В. Горбунов ; Самар.гос.техн.ун-т, Прикладная математика и информатика. - Электрон. дан. - Самара : [б. и.], 2012. - 52 с.
14. Павлова, Г. А. Обыкновенные дифференциальные уравнения [Электронный ресурс] : практикум. Ч. 2 / Г. А. Павлова, С. В. Горбунов ; Самар.гос.техн.ун-т, Прикладная математика и информатика. - Электрон. дан. - Самара : [б. и.], 2012. - 52 с.
15. Сухарев, М.Г., Арсеньев-Образцов, С.С., Жукова, Т.М. Основы математического и компьютерного моделирования в задачах нефтегазового комплекса [Текст]: учеб. пособие / М.Г Сухарев, С.С. Арсеньев-Образцов, Т.М. Жукова - М.: МАКС Пресс, 2010. - 120 с.
16. Современные вероятностные подходы при решении задач микро- и макроуровня в нефтегазовой отрасли [Текст] : учеб.пособие / В.В.Кадет, Я.И.Хургин. - М. ; Ижевск : Регуляр.и хаот.динамика, 2006. - 239 с. : ил. - (Соврем.нефтегаз.технологии). - ISBN 5-93972-562-7.

#### **Список рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет»:**

- <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - НЭБ - Научная электронная библиотека;
- <https://www.onepetro.org/> - Электронный ресурс Social Petroleum Engineering;
- <http://www.sciencedirect.com/> - Электронный ресурс ScienceDirect;
- <http://www.scopus.com/> - Scopus база данных рефератов и цитирования;
- <http://link.springer.com/> - Мировая интерактивная база данных SpringerLink;
- <http://www.taylorandfrancis.com/info/permissions/> - международное книжное издательство;
- <http://www.ngv.ru/> - Журнал "Нефтегазовая вертикаль";
- <http://www.oil-industry.ru/> - Научно-технический и производственный журнал «Нефтяное хозяйство»;
- <http://www.tehlit.ru/> - ГОСТ. Техническая литература;
- <http://www.knigafund.ru/> - Электронная библиотечная система «КнигаФонд»;
- <http://e.lanbook.com/> - Электронная библиотечная система «Лань»;
- <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронная библиотечная система IPRbooks;
- <http://elib.gubkin.ru/> - Электронная нефтегазовая библиотека РГУ нефти и газа им. Губкина;
- <http://irbis.samgtu.local/> - Электронная библиотека трудов сотрудников СамГТУ.

#### **4. Индивидуальные расчетные задания**

Индивидуальные расчетные задания выдаются преподавателем по 3 разделам курса:

- Математическое моделирование гидромеханических процессов;
- Математическое моделирование процессов транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа;
- Методы математической физики.

Каждое индивидуальное расчетное задание включает в себя решение двух задач по соответствующему разделу.

### **Примерные виды задач по 1 разделу курса:**

1. Через два образца пористой среды, содержащей глинистые частицы, с целью определения коэффициента проницаемости пропускали:

а) пресную воду при  $t=20^{\circ}\text{C}$  с расходом  $2\text{ см}^3/\text{мин}$ .

в) соленую воду с удельным весом  $1100\text{ кг/м}^3$  и вязкостью  $1,1\text{ мПа}\cdot\text{с}$ , с расходом  $0,12\text{ см}^3/\text{с}$ . Длина образца  $5\text{ см}$ , площадь поперечного сечения  $5\text{ см}^2$ . Перепад давления  $500\text{ мм.рт.ст.}$ . Найти отношение коэффициентов фильтрации для обоих случаев.

2. Определить скорость фильтрации при плоскорадиальной фильтрации нефти к скважине на расстоянии  $150\text{ м}$  от центра скважины, если давление в этой точке  $80\text{ атм}$ , мощность пласта  $12\text{ м}$ , пористость  $20\%$ , дебит  $2\cdot 10^6\text{ м}^3/\text{сут}$ .

3. Определить, происходит ли фильтрация в пласте по закону Дарси, если известно, что дебит нефтяной скважины  $200\text{ м}^3/\text{сут}$ , мощность пласта  $5\text{ м}$ , коэффициент пористости  $\tau=16\%$ , коэффициент проницаемости  $0,2\text{ д}$ , плотность нефти  $870\text{ кг/см}^3$ , вязкость  $5\text{ с.п.}$ . Скважина гидродинамически совершенна, радиус ее  $0,1\text{ м}$ .

4. Построить индикаторную линию при установившейся плоскорадиальной фильтрации жидкости по линейному закону, если известно, что давление на контуре питания  $8,82\text{ МПа}$ , коэффициент проницаемости пласта  $0,6\text{ мкм}^2$ , толщина пласта  $10\text{ м}$ , диаметр скважины  $24,8\text{ см}$ , расстояние до контура питания  $10\text{ км}$ , коэффициент динамической вязкости жидкости  $5\text{ мПа}\cdot\text{с}$ .

5. Приняв дебит равный  $172,8\text{ м}^3/\text{сут}$ , найти значения скорости фильтрации и градиента давления в точках, отстоящих от оси скважины на расстоянии  $500\text{ м}$ ;  $300\text{ м}$ ;  $100\text{ м}$ ;  $50\text{ м}$ , и на стенке скважины. Построить графики зависимостей  $V=F(r)$  и  $dP/dr=f(r)$ .

6. Определить дебит нефтяной скважины в случае установившейся плоско-радиальной фильтрации жидкости, если давление на контуре питания  $100\text{ атм}$ , давление на забое  $75\text{ атм}$ , проницаемость  $500\text{ мд}$ , мощность  $15\text{ м}$ , диаметр скважины  $24,8\text{ см}$ , радиус контура питания  $10\text{ км}$ , динамический коэффициент вязкости  $6\text{ сп}$ , удельный вес  $850\text{ кг/м}^3$ .

7. Определить время, за которое частица жидкости подойдет к стенке скважины с расстояния  $200\text{ м}$ , проницаемость  $1\text{ д}$ , вязкость  $5\text{ сп}$ , депрессия во всем пласте радиуса  $1\text{ км}$ , составляет  $10\text{ атм}$ , мощность пласта  $10\text{ м}$ , пористость  $15\%$ , радиус скважины  $0,1\text{ м}$ .

8. Круговой пласт состоит из двух кольцевых зон, с различной проницаемостью  $k_1$  и  $k_2$ , при  $r_1 < r \leq R_k$ . Вывести формулу для определения давления  $p_1$  на границе зон. Давления на контуре питания и на забое заданы.

9. Скважина радиусом  $10\text{ см}$  эксплуатирует пласт с радиусом контура питания  $10\text{ км}$ , характеризующийся коэффициентом проницаемости  $K_2$ . Во сколько раз изменится дебит скважины, если:

а) проницаемость  $K_1$  в призабойной зоне радиуса  $5\text{ м}$  возрастет в  $10$  раз в результате ее обработки ( $K_1/K_2=10$ ).

б) проницаемость этой же призабойной зоны ухудшится в  $10$  раз ( $K_1/K_2=0,1$ )

10. Каждый цикл солянокислотной обработки призабойной зоны пласта увеличивает ее проницаемость в  $2$  раза. Установлено, что в условиях данного пласта ( $R_k=3\text{ км}$ ) дальность проникновения реагента в пласт составляет  $3\text{ м}$ . Определить эффективность трехкратной и пятикратной обрабо-

ток в условиях притока жидкости к гидравлически совершенной скважине ( $r_c = 10$  м) для случая притока по закону Дарси.

11. Определить дебит нефтяной скважины (в т/сут) в случае установившейся плоскорадиальной фильтрации жидкости по закону Дарси, если известно, что давление на контуре питания 9,8 МПа ( $100 \text{ кгс/см}^2$ ), давление на забое скважины 7,30 МПа ( $75 \text{ кгс/см}^2$ ), коэффициент проницаемости пласта 0,5 Дарси, мощность пласта 15 м, диаметр скважины 24,8 см, радиус контура питания 10 км, динамический коэффициент вязкости жидкости 6 мПа·с и плотность жидкости  $850 \text{ кг/м}^3$ .

12. Круговой нефтяной паст радиусом 15 км, мощностью 8 м, эксплуатируется пятью скважинами радиусами 7,5 см, из которых четыре расположены в вершинах квадрата со стороной 150 м, а пятая в центре. Контурное давление 110 атм, скважины работают с одинаковым забойным давлением 90 атм. Коэффициент проницаемости пласта 0,6 д, вязкость нефти 1,1 сп. Определить дебиты скважин и отношение  $Q_5/Q_1$ .

13. В круговом пласте радиуса 150 м, мощностью 10 м, проницаемостью 0,5 д, расположена скважина радиуса 10 см. При депрессии 12 атм. дебит нефти вязкостью 2 сп при центральном расположении скважин равен  $223 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Как необходимо менять депрессию, чтобы при изменении положения скважины относительно центра пласта дебит оставался постоянным?

14. Определить дебит эксплуатационной скважины в пласте с круговым контуром области питания 10 км, скважина отстоит от центра пласта на расстояние 2 км, радиус скважины 10 см, мощность 5 м, проницаемость 500 мдарси, давление на контуре питания 250 атм, забойное давление 230 атм, динамическая вязкость 2 сп. Оценить степень точности расчета по приближенной формуле, взятой для случая неограниченного пласта.

15. Две скважины радиусом  $r_c$  с одинаковыми забойными давлениями  $p_c$  расположены на расстоянии  $\delta$  от прямолинейной непроницаемой границы и на расстоянии  $2\delta$  друг от друга. Пользуясь методом отображения стоков, получить по принципу суперпозиции формулу дебита этих скважин. Указание: Желая получить приближенную формулу, можно считать, что  $r_c < \delta$ ,  $\delta < R_k$ .

### **Примерные виды задач по 2 разделу курса:**

1. Средняя по сечению скорость  $v$  течения нефти ( $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ ) в трубопроводе ( $D = 1020$  мм;  $\delta = 10$  мм) равна 1,0 м/с. Определить годовую пропускную способность нефтепровода.

2. Нефтепродуктопровод состоит из двух последовательно соединенных участков: первого - с диаметром  $D_1 = 530$  мм и толщиной стенки  $\delta_1 = 8$  мм, и второго с диаметром  $D_2 = 377$  мм и толщиной стенки  $\delta_2 = 6$  мм. Скорость стационарного течения бензина в первом участке составляет 1,2 м/с. Какова скорость течения бензина во втором?

3. Перекачка нефти ( $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu = 0,015 \text{ Пз}$ ) ведется по нефтепроводу ( $D = 530 \times 8$  мм) с расходом  $800 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Определить режим течения и вычислить коэффициент гидравлического сопротивления.

4. Перекачка бензина Аи-92 ( $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu = 0,5 \text{ сПз}$ ) ведется по нефтепродуктопроводу ( $D = 530 \times 8$  мм;  $\Delta = 0,22$  мм) с расходом  $1100 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Определить режим течения и коэффициент гидравлического сопротивления.

5. Дизельное топливо Л-02-62 ( $\rho = 840 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu = 4,0 \text{ сПз}$ ) транспортируют по нефтепродуктопроводу ( $D = 530$  мм;  $\delta = 8$  мм;  $\Delta = 0,22$  мм) с расходом  $700 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Определит режим течения и вычислить коэффициент гидравлического сопротивления.

6. Чему равен гидравлический уклон на участке трубопровода ( $D = 377$  мм,  $\delta = 8$  мм,  $\Delta = 0,15$  мм), транспортирующего дизельное топливо ( $\nu = 5$  сСт) с расходом  $250\text{ м}^3/\text{ч}$ ?

7. Данные о профиле нефтепровода, транспортирующего сырую нефть ( $\rho = 850$  кг/м<sup>3</sup>), приведены в нижеследующей таблице

|        |     |     |     |     |    |     |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| x, км  | 0   | 20  | 40  | 60  | 80 | 100 | 120 |
| z, м   | 100 | 150 | 200 | 100 | 50 | 50  | 150 |
| p, МПа | 5,0 |     |     |     |    |     | 0,5 |

(x - координата сечения; z - геодезическая отметка). Найти давления в сечениях, пропущенных в таблице. Упругостью насыщенных паров нефти пренебречь; давление, выраженное в МПа, округлить с точностью до десятых.

8. Данные о профиле нефтепродуктопровода, транспортирующего бензин А-80 ( $\rho = 735$  кг/м<sup>3</sup>), приведены в ниже следующей таблице

|        |    |     |     |     |     |     |
|--------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| x, км  | 0  | 20  | 40  | 60  | 80  | 100 |
| z, м   | 75 | 120 | 180 | 160 | 130 | 30  |
| p, МПа |    | 3,8 |     | 2,6 |     |     |

(x - координата сечения; z - геодезическая отметка). Найти давления в сечениях, пропущенных в таблице. Давление, выраженное в МПа, округлить с точностью до десятых.

9. Построить гидравлическую ( $Q - H$ ) характеристику линейного участка нефтепровода ( $D = 325 \times 8$  мм,  $L = 180$  км), по которому транспортируется нефть ( $\nu = 20$  сСт), если известно, что профиль нефтепровода монотонно опускается вниз от отметки  $z_{\text{н}} = 200$  м в начале участка до отметки  $z_{\text{к}} = 100$  м в его конце. Потерями на местных сопротивлениях пренебречь.

*Указание.* Заполнить пустые ячейки таблицы:

|                           |     |     |     |     |     |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$ | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| H, м                      |     |     |     |     |     |

10. Построить гидравлическую ( $Q - H$ ) характеристику участка нефтепродуктопровода ( $D = 530$  мм,  $\delta = 7$  мм,  $\Delta = 0,2$  мм,  $L = 125$  км), по которому транспортируется дизельное топливо Л-05-62 ( $\rho = 840$  кг/м<sup>3</sup>,  $\nu = 9$  сСт), если известно, что профиль трубопровода монотонно поднимается вверх от отметки  $z_{\text{н}} = 75$  м в начале участка до отметки  $z_{\text{к}} = 180$  м в его конце. Потерями на местных сопротивлениях пренебречь.

*Указание.* Заполнить пустые ячейки таблицы:

|                           |     |     |      |      |      |
|---------------------------|-----|-----|------|------|------|
| $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$ | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
| H, м                      |     |     |      |      |      |

11. Нефтепродуктопровод состоит из двух последовательно соединенных участков: первого –  $D_1 = 530 \times 8$  мм,  $L_1 = 60$  км, и второго –  $D_2 = 377 \times 6$  мм,  $L_2 = 30$  км. Скорость стационарного течения бензина ( $\nu = 0,6$  сСт) в первом участке составляет  $1,2$  м/с. Зная, что шероховатость  $\Delta$  внутренней поверхности участков составляет  $0,15$  мм, найти потери напора в нефтепродуктопроводе.

12. По участку нефтепровода ( $D = 820 \times 8$  мм,  $L = 140$  км,  $\Delta = 0,2$  мм,  $z_{\text{н}} = 120$  м,  $z_{\text{к}} = 160$  м) перекачивают маловязкую нефть ( $\rho = 850$  кг/м<sup>3</sup>,  $\nu = 7$  сСт) с расходом  $2500\text{ м}^3/\text{ч}$ . Какое давление необходимо поддерживать в начале участка, если в конце участка оно равно  $3$  атм.? Известно также, что все сечения нефтепровода заполнены нефтью полностью.

13. Сырая нефть ( $\rho = 890$  кг/м<sup>3</sup>,  $\nu = 10$  сСт) течет в практически горизонтальном участке нефтепровода ( $D = 820 \times 10$  мм,  $L = 140$  км) под действием разности давлений между началом и концом участка, равной  $15$  атм. Найти расход перекачки.

14. Бензин А 76 ( $\rho = 740 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 0,6 \text{ сСт}$ ) перекачивают по трубопроводу ( $D = 530 \times 7 \text{ мм}$ ,  $\Delta = 0,2 \text{ мм}$ ;  $L = 120 \text{ км}$ ;  $z_n = 50 \text{ м}$ ,  $z_k = 100 \text{ м}$ ), при этом давление в начале трубопровода составляет 55 атм., а в конце - 3 атм. Найти расход перекачки.

15. Пропускная способность  $G_B$  участка нефтепродуктопровода ( $D = 530 \times 8 \text{ мм}$ ,  $\Delta = 0,15 \text{ мм}$ ,  $L = 125 \text{ км}$ ,  $z_n = 50 \text{ м}$ ,  $z_k = 150 \text{ м}$ , где  $z_n$ ,  $z_k$  - высотные отметки начала и конца участка, соответственно) составляет на бензине ( $\rho_B = 740 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu_B = 0,6 \text{ сСт}$ ) 8,0 млн.т/год. Какова пропускная способность  $G_D$  того же участка трубопровода на дизельном топливе ( $\rho_D = 840 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu_D = 6,0 \text{ сСт}$ ), если известно, что давления в начале и конце участка при переходе с перекачки бензина на дизельное топливо не изменяются, а 1 год составляет 8400 часов?

### Примерные виды задач по 3 разделу курса:

1. Найти общий интеграл дифференциального уравнения. (Ответ представить в виде  $\psi(x, y) = C$ ).

$$y'y \sqrt{\frac{1-x^2}{1-y^2}} + 1 = 0.$$

2. Найти общий интеграл дифференциального уравнения.

$$y' = \frac{x + 2y}{2x - y}.$$

3. Найти общий интеграл дифференциального уравнения.

$$y' = \frac{x + 2y - 3}{4x - y - 3}.$$

4. Найти решение задачи Коши.

$$y' - y \cos x = \frac{1}{2} \sin 2x, y(0) = 0.$$

5. Решить задачу Коши.

$$y^2 dx + (xy - 1) dy = 0, y|_{x=1} = e.$$

6. Найти решение задачи Коши.

$$3(xy' + y) = y^2 \ln x, y(1) = 3.$$

7. Найти общий интеграл дифференциального уравнения.

$$(y^2 + y \sec^2 x) dx + (2xy + \operatorname{tg} x) dy = 0.$$

8. Для данного дифференциального уравнения методом изоклин построить интегральную кривую, проходящую через точку.

$$y' = xy, M(0,1).$$

9. Найти линию, проходящую через точку  $M_0$ , если отрезок любой ее касательной между точкой касания и осью  $Oy$  делится на точке пересечения с осью абсцисс в отношении  $a : b$  (считая от оси  $Oy$ ).

$$M_0(1,2), a : b = 2 : 1.$$

10. Найти общее решение дифференциального уравнения.

$$y''' \operatorname{ctg} 2x + 2y'' = 0.$$

11. Найти решение задачи Коши.

$$y'' = 72y^3, y(2) = 1, y'(2) = 6.$$

12. Найти общее решение дифференциального уравнения.

$$y''' + 3y'' + 2y' = 1 - x^2.$$

13. Найти общее решение дифференциального уравнения.

$$y''' - 4y'' + 5y' - 2y = (16 - 12x)e^{-x}.$$

14. Найти общее решение дифференциального уравнения.

$$y'' + y = 2 \cos 7x + 3 \sin 7x.$$

15. Найти общее решение дифференциального уравнения.

$$y'' + y = 2 \sin x - 6 \cos x + 2e^x.$$

16. Найти решение задачи Коши.

$$y'' + 4y = 4 \operatorname{ctg} 2x, y(\pi/4) = 3, y'(\pi/4) = 2.$$

## 5. Реферат

### Примерный перечень тем реферативных работ 1 раздела курса:

1. Жесткие и мягкие математические модели. Качественные методы исследования дифференциальных уравнений. Математические модели трудноформализуемых объектов. Дифференциальные, интегральные и функциональные уравнения в математическом моделировании.
2. Математическое моделирование на основе фундаментальных законов природы. Метод анализа размерностей при построении физических моделей.
3. Теплогидродинамические модели сплошных сред. Закономерности развития сред по пространству и времени в условиях неизотермичности и многомасштабности процессов переноса.
4. Течение газа в скважинах и сопряженные задачи теплообмена.
5. Стационарное неизотермическое течение газа.
6. Теплогидродинамическое подобие и метод анализа размерностей в задачах нефтегазовой гидродинамики.
7. Использование уравнений макроскопических балансов для решения задач об установившихся течениях.

### Примерный перечень тем реферативных работ 2 раздела курса:

1. Ламинарное течение в трубопроводе при наличии постоянного теплового потока к ее стенке. Асимптотическое решение для малых расстояний.
2. Расчет профилей поля скорости и температуры при установившемся турбулентном течении в трубопроводах с идеально гладкой стенкой.
3. Смешение двух потоков идеальных газов в трубопроводе в условиях стационарного турбулентного движения.
4. Конвективный массообмен. Диффузия в жидкостях и газах.
5. Распределение концентраций в твердых стенках и в ламинарном потоке. Формулировки решений диффузионных задач.
6. Сопротивление и тепломассообмен, сопровождающийся гомогенной и гетерогенной химической реакцией.
7. Термодиффузия. Бародиффузия. Динодиффузия. Многокомпонентные системы.
8. Теория пограничного слоя. Приближенные методы. Точные решения для одновременного переноса тепла, массы и импульса.

9. Современные методы расчета турбулентного течения и теплообмена при граничных условиях 1 и 2 рода для тепловых процессов.

### **Примерный перечень тем реферативных работ 3 раздела курса:**

1. Численные методы решения краевых задач. Разностные уравнения. Модификация метода прогонки. Решение сопряженных задач.
2. Технология численного анализа гидродинамики и теплообмена в трубопроводах переменного поперечного сечения.
3. Метод расчета процессов горения многокомпонентной смеси во внутренних системах переменного и постоянного поперечного сечения.
4. Алгоритмы и программы решения задач гидродинамики и тепломассопереноса при турбулентном течении с применением моделей турбулентности второго порядка.
5. Методы моделирования газовой опасности. Воспламенение смеси и тепловое поражение. Краткий анализ методики расчета локальных и интегральных параметров при сложном течении смесей.
6. Сравнительный анализ возможностей использования много-параметрических моделей турбулентности в предсказании низкорейнольдсовых движений в трубах. Выводы и рекомендации.

Всего выполняется студентами 3 реферативных работы по одной на каждый раздел изучаемой дисциплины. Темы реферативных работ назначаются преподавателем или предлагаются студентами. Выполнение реферативной работы осуществляется согласно ГОСТ 7.9-95 (ИСО 214-76) «Реферат и аннотация». Реферативная работа адаптируется применительно к теме намечаемой магистерской выпускной квалификационной работы.

### **Требования к написанию реферативных работ**

Реферат относится к разряду научных работ. Реферат представляет собой краткое изложение сущности какого-либо вопроса или проблемы в письменном виде на основе анализа литературы.

Работа над рефератом состоит из нескольких этапов: выбор темы, сбор и анализ литературы, написание реферата.

В реферате должны быть представлены суждения студента, основанные на изучении научной литературы (монографии, научные сборники, журналы, газеты) и источников (мемуары, периодическая печать исследуемых хронологических рамок, опубликованные и неопубликованные документы, статистические данные, патенты, материалы государственных и личных архивов и др.).

Минимум использованной литературы составляет 10 - 15 библиографических единиц (в списке использованной литературы должны присутствовать разные источники, т.е. он не должен состоять только из одних книг или только из одних статей).

Для поиска литературы используются соответствующие тематические каталоги в библиотеках. Следует обратить внимание на источники, на которые делают ссылки авторы книг и статей. Это позволит расширить поиск. В качестве дополнительного информационного источника возможно использование Интернет-ресурсов, но только с указанием на адрес портала государственного или образовательного статуса, содержащего апробированные научные источники.

### **Структура реферативных работ**

Структура реферата включает в себя титульный лист, содержание (с указанием страниц), введение, основную часть, заключение, библиографический список и приложения (если необходимо).

Введение должно включать в себя актуальность темы, обзор литературы и источников (если используются) по проблеме, цель и задачи, предмет, объект, методологический арсенал реферативной работы.

В основной части целесообразно выделение 2-3 вопросов, отражающих разные аспекты темы. В реферате важно привести различные точки зрения на проблему и дать им оценку.

В заключении подводятся итоги рассмотрения темы. Приветствуется определение автором перспективных направлений изучения проблемы.

Библиографический список выполняется в алфавитном порядке.



### **Правила оформления реферативных работ**

При оформлении текста реферата следует учитывать, что открывается работа титульным листом, где указывается полное название ведомства, университета, факультета, кафедры, тема реферата, фамилии автора и руководителей (научный руководитель и преподаватель по «Эксплуатации нефтяных месторождений»), место и год написания.

На следующей странице, которая нумеруется снизу по центру номером 2, помещается оглавление дублированным названием темы реферата и с точным названием каждой главы (смысловой части) и указанием начальных страниц.

Общий объем реферата не должен превышать 20 - 30 страниц (без приложений) для печатного варианта. Текст печатается на листе формата А 4. Абзац должен равняться четырем знакам (1,25 см). Поля страницы: левое - 3 см, правое - 1,5 см, нижнее - 2 см, верхнее - 2 см. Текст печатается через 1,5 интервала в текстовом редакторе MicrosoftWord; шрифт - TimesNewRomanСyr, размер шрифта - 14 пт.

Каждая структурная часть реферата (введение, главная часть, заключение и т.д.) начинается с новой страницы. Расстояние между главой (структурной частью) и следующим за ней текстом, а также между главой и параграфом составляет 2 интервала. Каждое приложение также помещается на новой странице.

После заголовка, располагаемого посередине строки, не ставится точка. Страницы реферата нумеруются в нарастающем порядке. Номера страниц ставятся внизу в середине листа. Титульный лист реферата включается в общую нумерацию, но номер страницы на нем не проставляется (это не относится к содержанию реферата).

В тексте реферата инициалы авторов указываются перед фамилиями.

Цитаты (даются в кавычках), цифры и факты, приведенные в тексте, должны сопровождаться указаниями источников. Образец: «Концепция – это совокупность основных идей, определенная трактовка, основная точка зрения на какое-либо явление или совокупность явлений» [2, 13], где 2 – номер книги из библиографического списка, а 13 – страница, на которой эта часть текста расположена.

Если необходимо указать несколько источников, то разделение осуществлять знаком «;»: [1, 75; 3, 195]

При цитировании текста с опусканием одного или нескольких слов или предложений (без ущерба для контекста) вместо изъятых слов ставится многоточие.

Библиография оформляется в алфавитном порядке в соответствии со стандартами.

**Приложение 3**

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Самарский государственный технический университет»

**Нефтетехнологический факультет**  
**Кафедра Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**текущего контроля и промежуточной аттестации**

**дисциплины «Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли.  
Методы математической физики»**

в составе основной образовательной программы по направлению подготовки:

**21.04.01 Нефтегазовое дело**

по уровню высшего образования: **магистратура**

направленность (профиль) программы: **«Трубопроводный транспорт углеводородов», «Строительство наклоннонаправленных и горизонтальных скважин», Разработка нефтяных месторождений**

**Составитель:**

**д.ф.-м.н., профессор кафедры**

**«РиЭНиГМ»**

**В.И.Астафьев**

---

**1. Паспорт фонда оценочных средств**  
**по дисциплине Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли.**  
**Методы математической физики**

| № п/п | Контролируемые разделы дисциплины   | Код контролируемой компетенции | Шифр дескриптора (описания компетенции)  | Наименование оценочного средства   |
|-------|---|--------------------------------|--|--|
| 1     | 2   | 3                              | 4  | 5  |
| 1     | Раздел 1. Математическое моделирование гидромеханических процессов                            | ОПК-1                          | У (ОПК-1) - 1 <sup>1</sup><br>З (ОПК-1) - 1 <sup>1</sup><br>В (ОПК-1) - 1 <sup>1</sup> | Собеседование (устный опрос)<br>Индивидуальные расчетные задания, Реферативная работа, Зачет |
| 2     | Раздел 2. Математическое моделирование процессов транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа | ОПК-1                          | У (ОПК-1) - 1 <sup>1</sup><br>З (ОПК-1) - 1 <sup>1</sup><br>В (ОПК-1) - 1 <sup>1</sup> | Собеседование (устный опрос)<br>Индивидуальные расчетные задания, Реферативная работа, Зачет |
| 3     | Раздел 3. Методы математической физики  | ОПК-1                          | У (ОПК-1) - 1 <sup>1</sup><br>З (ОПК-1) - 1 <sup>1</sup><br>В (ОПК-1) - 1 <sup>1</sup> | Собеседование (устный опрос)<br>Индивидуальные расчетные задания, Реферативная работа, Зачет |



### 3. Критерии оценивания достижений студентом запланированных результатов обучения

| Оценка                | Критерии   |
|-----------------------|--|
| «отлично»             | <i>Выставляется, если уровень сформированности заявленных компетенций по 80 и более % дескрипторов (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается на уровнях «4» и «5», при условии отсутствия уровней «1»-«3»: студент показал прочные знания основных положений фактического материала, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи повышенной сложности, свободно использовать справочную литературу, делать обоснованные выводы из результатов анализа конкретных ситуаций</i>                                |
| «хорошо»              | <i>Выставляется, если уровень сформированности заявленных компетенций по 60 и более % дескрипторов (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается на уровнях «4» и «5», при условии отсутствия уровней «1»-«2»: студент показал прочные знания основных положений фактического материала, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи, предусмотренные рабочей программой, ориентироваться в рекомендованной справочной литературе, умеет правильно оценить полученные результаты анализа конкретных ситуаций</i> |
| «удовлетворительно»   | <i>Выставляется, если уровень сформированности заявленных компетенций по 60 и более % дескрипторов (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается на уровнях «3»-«5»: студент показал знание основных положений фактического материала, умение получить с помощью преподавателя правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой, знакомство с рекомендованной справочной литературой</i>  |
| «неудовлетворительно» | <i>Выставляется, если уровень сформированности заявленных компетенций менее чем по 60 % дескрипторов (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается на уровнях «3»-«5»: При ответе студента выявились существенные пробелы в знаниях основных положений фактического материала, неумение с помощью преподавателя получить правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины</i>  |

## Вопросы для собеседования (устного опроса)

### Практическое занятие № 1. Математическое моделирование гидромеханических процес-

**сов**

1. Плоские установившиеся фильтрационные потоки. Взаимодействие скважин.
2. Неустановившееся движение сжимаемой жидкости в упругой пористой среде.

### Практическое занятие № 2. Математическое моделирование гидромеханических процес- сов (продолжение)

1. Расчет показателей разработки на основе решения Бэкли-Левверетта.
2. Модель вытеснения Раппорта-Лиса.

### Практическое занятие № 3. Математическое моделирование процессов транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа

1. Ламинарное и турбулентное течение вязкой жидкости в круглой трубе.
2. Нестационарные течения слабо сжимаемой жидкости в трубопроводе.

### Практическое занятие № 4. Методы математической физики

1. Решение дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.
2. Решение волнового уравнения. Метод Даламбера.

### Практическое занятие № 5. Методы математической физики (продолжение)

1. Решение начально-краевых задач для уравнения теплопроводности.

## Перечень тем для самостоятельного изучения материала

### Тема 1. Модели однофазной и многофазной фильтрации

- 1.1. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности.
- 1.2. Закон сохранения импульса. Уравнение фильтрации.
- 1.3. Закон сохранения энергии. Уравнение теплопроводности.
- 1.4. Уравнения состояния. Линейные и нелинейные законы фильтрации.
- 1.5. Аналитические решения задач однофазной фильтрации. Стационарная и нестационарная фильтрация.
- 1.6. Одномерные и многомерные задачи фильтрации.
- 1.7. Конечно-разностные методы решения задач однофазной фильтрации. Дискретизация по времени и по пространству.
- 1.8. Аналитические методы решения задач многофазной фильтрации.
- 1.9. Конечно-разностные методы решения задач многофазной фильтрации.
- 1.10. Неявная схема для уравнений многофазной фильтрации. Метод совместного решения (SS-метод).
- 1.11. Метод, неявный по давлению и явный по насыщенности (IMPES-метод).

### Тема 2. Модели транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа

- 2.1. Математические модели жидкости (идеальная и вязкая жидкость, сжимаемая и несжимаемая жидкость, ньютоновская и неньютоновская жидкость).
- 2.2. Математические модели газообразных сплошных сред (совершенный газ, реальный газ).
- 2.3. Математическая модель упругого деформируемого трубопровода.
- 2.4. Ламинарное и турбулентное течение жидкости в трубопроводе.
- 2.5. Моделирование и расчет установившихся режимов работы трубопроводов.
- 2.6. Моделирование и расчет неустановившегося течения сжимаемой жидкости в трубопроводе.
- 2.7. Моделирование и расчет неустановившегося течения газа в газопроводе.
- 2.8. Распространение волн в трубопроводах. Гидравлический удар в трубопроводах.

### **Тема 3. Методы математической физики**

- 3.1. Уравнения первого порядка. Общие методы интегрирования.
- 3.2. Линейные уравнения. Общие методы интегрирования.
- 3.3. Линейные уравнения с постоянными коэффициентами. Общие методы интегрирования.
- 3.4. Нелинейные уравнения второго порядка. Фазовая плоскость. Особые точки. Устойчивость решения по Ляпунову.
- 3.5. Уравнения первого порядка. Уравнения с двумя переменными. Задача с начальными условиями (задача Коши).
- 3.6. Уравнения второго порядка с двумя переменными. Классификация уравнений. Преобразование уравнений к каноническому виду.
- 3.7. Характеристики уравнения. Решение гиперболических уравнений методом характеристик.
- 3.8. Типичные краевые задачи для уравнений второго порядка
- 3.9. Волновое уравнение. Частные решения для волнового уравнения.
- 3.10. Уравнение Лапласа. Частные решения для уравнения Лапласа.
- 3.11. Уравнение диффузии. Частные решения для уравнения диффузии.

### **Перечень примерных видов задач для индивидуальных расчетных заданий**

#### **Примерные виды задач по 1 разделу курса:**

1. Через два образца пористой среды, содержащей глинистые частицы, с целью определения коэффициента проницаемости пропускали:
  - а) пресную воду при  $t=20^{\circ}\text{C}$  с расходом  $2\text{ см}^3/\text{мин}$ .
  - в) соленую воду с удельным весом  $1100\text{ кг/м}^3$  и вязкостью  $1,1\text{ мПа}\cdot\text{с}$ , с расходом  $0,12\text{ см}^3/\text{с}$ .
 Длина образца  $5\text{ см}$ , площадь поперечного сечения  $5\text{ см}^2$ . Перепад давления  $500\text{ мм.рт.ст.}$ . Найти отношение коэффициентов фильтрации для обоих случаев.
2. Определить скорость фильтрации при плоскорадиальной фильтрации нефти к скважине на расстоянии  $150\text{ м}$  от центра скважины, если давление в этой точке  $80\text{ атм}$ , мощность пласта  $12\text{ м}$ , пористость  $20\%$ , дебит  $2\cdot 10^6\text{ м}^3/\text{сут}$ .
3. Определить, происходит ли фильтрация в пласте по закону Дарси, если известно, что дебит нефтяной скважины  $200\text{ м}^3/\text{сут}$ , мощность пласта  $5\text{ м}$ , коэффициент пористости  $\tau = 16\%$ , коэффициент проницаемости  $0,2\text{ д}$ , плотность нефти  $870\text{ кг/см}^3$ , вязкость  $5\text{ с.п.}$ . Скважина гидродинамически совершенна, радиус ее  $0,1\text{ м}$ .
4. Построить индикаторную линию при установившейся плоскорадиальной фильтрации жидкости по линейному закону, если известно, что давление на контуре питания  $8,82\text{ МПа}$ , коэффициент проницаемости пласта  $0,6\text{ мкм}^2$ , толщина пласта  $10\text{ м}$ , диаметр скважины  $24,8\text{ см}$ , расстояние до контура питания  $10\text{ км}$ , коэффициент динамической вязкости жидкости  $5\text{ мПа}\cdot\text{с}$ .
5. Приняв дебит равный  $172,8\text{ м}^3/\text{сут}$ , найти значения скорости фильтрации и градиента давления в точках, отстоящих от оси скважины на расстоянии  $500\text{ м}$ ;  $300\text{ м}$ ;  $100\text{ м}$ ;  $50\text{ м}$ , и на стенке скважины. Построить графики зависимостей  $V=F(r)$  и  $dP/dr=f(r)$ .
6. Определить дебит нефтяной скважины в случае установившейся плоско-радиальной фильтрации жидкости, если давление на контуре питания  $100\text{ атм}$ , давление на забое  $75\text{ атм}$ , проницаемость  $500\text{ мд}$ , мощность  $15\text{ м}$ , диаметр скважины  $24,8\text{ см}$ , радиус контура питания  $10\text{ км}$ , динамический коэффициент вязкости  $6\text{ с.п.}$ , удельный вес  $850\text{ кг/м}^3$ .
7. Определить время, за которое частица жидкости подойдет к стенке скважины с расстояния  $200\text{ м}$ , проницаемость  $1\text{ д}$ , вязкость  $5\text{ с.п.}$ , депрессия во всем пласте радиуса  $1\text{ км}$ , составляет  $10\text{ атм}$ , мощность пласта  $10\text{ м}$ , пористость  $15\%$ , радиус скважины  $0,1\text{ м}$ .

8. Круговой пласт состоит из двух кольцевых зон, с различной проницаемостью 1)  $k = k_1$  2)  $k = k_2$ , при  $r_1 < r \leq R_k$ . Вывести формулу для определения давления  $p_1$  на границе зон. Давления на контуре питания и на забое заданы.

9. Скважина радиусом 10 см эксплуатирует пласт с радиусом контура питания 10 км, характеризующийся коэффициентом проницаемости  $K_2$ . Во сколько раз изменится дебит скважины, если:

а) проницаемость  $K_1$  в призабойной зоне радиуса 5 м возрастет в 10 раз в результате ее обработки ( $K_1/K_2 = 10$ ).

б) проницаемость этой же призабойной зоны ухудшится в 10 раз ( $K_1/K_2 = 0,1$ )

10. Каждый цикл солянокислотной обработки призабойной зоны пласта увеличивает ее проницаемость в 2 раза. Установлено, что в условиях данного пласта ( $R_k = 3$  км) дальность проникновения реагента в пласт составляет 3 м. Определить эффективность трехкратной и пятикратной обработок в условиях притока жидкости к гидравлически совершенной скважине ( $r_c = 10$  м) для случая притока по закону Дарси.

11. Определить дебит нефтяной скважины (в т/сут) в случае установившейся плоскорадиальной фильтрации жидкости по закону Дарси, если известно, что давление на контуре питания 9,8 МПа ( $100$  кгс/см<sup>2</sup>), давление на забое скважины 7,30 МПа ( $75$  кгс/см<sup>2</sup>), коэффициент проницаемости пласта 0,5 Дарси, мощность пласта 15 м, диаметр скважины 24,8 см, радиус контура питания 10 км, динамический коэффициент вязкости жидкости 6 мПа·с и плотность жидкости 850 кг/м<sup>3</sup>.

12. Круговой нефтяной пласт радиусом 15 км, мощностью 8 м, эксплуатируется пятью скважинами радиусами 7,5 см, из которых четыре расположены в вершинах квадрата со стороной 150 м, а пятая в центре. Контурное давление 110 атм, скважины работают с одинаковым забойным давлением 90 атм. Коэффициент проницаемости пласта 0,6 д, вязкость нефти 1,1 сп. Определить дебиты скважин и отношение  $Q_5/Q_1$ .

13. В круговом пласте радиуса 150 м, мощностью 10 м, проницаемостью 0,5 д, расположена скважина радиуса 10 см. При депрессии 12 атм. дебит нефти вязкостью 2 сп при центральном расположении скважин равен 223 м<sup>3</sup>/сут. Как необходимо менять депрессию, чтобы при изменении положения скважины относительно центра пласта дебит оставался постоянным?

14. Определить дебит эксплуатационной скважины в пласте с круговым контуром области питания 10 км, скважина отстоит от центра пласта на расстояние 2 км, радиус скважины 10 см, мощность 5 м, проницаемость 500 мдарси; давление на контуре питания 250 атм, забойное давление 230 атм, динамическая вязкость 2 сп. Оценить степень точности расчета по приближенной формуле, взятой для случая неограниченного пласта.

15. Две скважины радиусом  $r_c$  с одинаковыми забойными давлениями  $p_c$  расположены на расстоянии  $\delta$  от прямолинейной непроницаемой границы и на расстоянии  $2\delta$  друг от друга. Пользуясь методом отображения стоков, получить по принципу суперпозиции формулу дебита этих скважин. Указание: Желая получить приближенную формулу, можно считать, что  $r_c < \delta$ ,  $\delta < R_k$ .

### **Примерные виды задач по 2 разделу курса:**

1. Средняя по сечению скорость  $v$  течения нефти ( $\rho = 900$  кг/м<sup>3</sup>) в трубопроводе ( $D = 1020$  мм;  $\delta = 10$  мм) равна 1,0 м/с. Определить годовую пропускную способность нефтепровода.

2. Нефтепродуктопровод состоит из двух последовательно соединенных участков: первого - с диаметром  $D_1 = 530$  мм и толщиной стенки  $\delta_1 = 8$  мм, и второго с диаметром  $D_2 = 377$  мм и толщиной стенки  $\delta_2 = 6$  мм. Скорость стационарного течения бензина в первом участке составляет 1,2 м/с. Какова скорость течения бензина во втором?



3. Перекачка нефти ( $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu = 0,015 \text{ Пз}$ ) ведется по нефтепроводу ( $D = 530 \times 8 \text{ мм}$ ) с расходом  $800 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Определить режим течения и вычислить коэффициент гидравлического сопротивления.

4. Перекачка бензина Аи-92 ( $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu = 0,5 \text{ сПз}$ ) ведется по нефтепродуктопроводу ( $D = 530 \times 8 \text{ мм}$ ;  $\Delta = 0,22 \text{ мм}$ ) с расходом  $1100 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Определить режим течения и коэффициент гидравлического сопротивления.

5. Дизельное топливо Л-02-62 ( $\rho = 840 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu = 4,0 \text{ сПз}$ ) транспортируют по нефтепродуктопроводу ( $D = 530 \text{ мм}$ ;  $\delta = 8 \text{ мм}$ ;  $\Delta = 0,22 \text{ мм}$ ) с расходом  $700 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Определит режим течения и вычислить коэффициент гидравлического сопротивления.

6. Чему равен гидравлический уклон на участке трубопровода ( $D = 377 \text{ мм}$ ,  $\delta = 8 \text{ мм}$ ,  $\Delta = 0,15 \text{ мм}$ ), транспортирующего дизельное топливо ( $\nu = 5 \text{ сСт}$ ) с расходом  $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ ?

7. Данные о профиле нефтепровода, транспортирующего сырую нефть ( $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$ ), приведены в нижеследующей таблице

|        |     |     |     |     |    |     |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| x, км  | 0   | 20  | 40  | 60  | 80 | 100 | 120 |
| z, м   | 100 | 150 | 200 | 100 | 50 | 50  | 150 |
| p, МПа | 5,0 |     |     |     |    |     | 0,5 |

(x - координата сечения; z - геодезическая отметка). Найти давления в сечениях, пропущенных в таблице. Упругостью насыщенных паров нефти пренебречь; давление, выраженное в МПа, округлить с точностью до десятых.

8. Данные о профиле нефтепродуктопровода, транспортирующего бензин А-80 ( $\rho = 735 \text{ кг/м}^3$ ), приведены в ниже следующей таблице

|        |    |     |     |     |     |     |
|--------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| x, км  | 0  | 20  | 40  | 60  | 80  | 100 |
| z, м   | 75 | 120 | 180 | 160 | 130 | 30  |
| p, МПа |    | 3,8 |     | 2,6 |     |     |

(x - координата сечения; z - геодезическая отметка). Найти давления в сечениях, пропущенных в таблице. Давление, выраженное в МПа, округлить с точностью до десятых.

9. Построить гидравлическую ( $Q - H$ ) характеристику линейного участка нефтепровода ( $D = 325 \times 8 \text{ мм}$ ,  $L = 180 \text{ км}$ ), по которому транспортируется нефть ( $\nu = 20 \text{ сСт}$ ), если известно, что профиль нефтепровода монотонно опускается вниз от отметки  $z_H = 200 \text{ м}$  в начале участка до отметки  $z_K = 100 \text{ м}$  в его конце. Потерями на местных сопротивлениях пренебречь.

*Указание.* Заполнить пустые ячейки таблицы:

|                          |     |     |     |     |     |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Q, $\text{м}^3/\text{ч}$ | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| H, м                     |     |     |     |     |     |

10. Построить гидравлическую ( $Q - H$ ) характеристику участка нефтепродуктопровода ( $D = 530 \text{ мм}$ ,  $\delta = 7 \text{ мм}$ ;  $\Delta = 0,2 \text{ мм}$ ,  $L = 125 \text{ км}$ ), по которому транспортируется дизельное топливо Л-05-62 ( $\rho = 840 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 9 \text{ сСт}$ ), если известно, что профиль трубопровода монотонно поднимается вверх от отметки  $z_H = 75 \text{ м}$  в начале участка до отметки  $z_K = 180 \text{ м}$  в его конце. Потерями на местных сопротивлениях пренебречь.

*Указание.* Заполнить пустые ячейки таблицы:

|                          |     |     |      |      |      |
|--------------------------|-----|-----|------|------|------|
| Q, $\text{м}^3/\text{ч}$ | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
| H, м                     |     |     |      |      |      |

11. Нефтепродуктопровод состоит из двух последовательно соединенных участков: первого –  $D_1 = 530 \times 8 \text{ мм}$ ,  $L_1 = 60 \text{ км}$ , и второго –  $D_2 = 377 \times 6 \text{ мм}$ ,  $L_2 = 30 \text{ км}$ . Скорость стационарного течения

бензина ( $\nu = 0,6 \text{ сСт}$ ) в первом участке составляет 1,2 м/с. Зная, что шероховатость  $\Delta$  внутренней поверхности участков составляет 0,15 мм, найти потери напора в нефтепродуктопроводе.

12. По участку нефтепровода ( $D = 820 \times 8 \text{ мм}$ ,  $L = 140 \text{ км}$ ,  $\Delta = 0,2 \text{ мм}$ ,  $z_n = 120 \text{ м}$ ,  $z_k = 160 \text{ м}$ ) перекачивают маловязкую нефть ( $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 7 \text{ сСт}$ ) с расходом  $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Какое давление необходимо поддерживать в начале участка, если в конце участка оно равно 3 атм.? Известно также, что все сечения нефтепровода заполнены нефтью полностью.

13. Сырая нефть ( $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 10 \text{ сСт}$ ) течет в практически горизонтальном участке нефтепровода ( $D = 820 \times 10 \text{ мм}$ ,  $L = 140 \text{ км}$ ) под действием разности давлений между началом и концом участка, равной 15 атм. Найти расход перекачки.

14. Бензин А 76 ( $\rho = 740 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 0,6 \text{ сСт}$ ) перекачивают по трубопроводу ( $D = 530 \times 7 \text{ мм}$ ,  $\Delta = 0,2 \text{ мм}$ ;  $L = 120 \text{ км}$ ;  $z_n = 50 \text{ м}$ ,  $z_k = 100 \text{ м}$ ), при этом давление в начале трубопровода составляет 55 атм., а в конце - 3 атм. Найти расход перекачки.

15. Пропускная способность  $G_B$  участка нефтепродуктопровода ( $D = 530 \times 8 \text{ мм}$ ,  $\Delta = 0,15 \text{ мм}$ ,  $L = 125 \text{ км}$ ,  $z_n = 50 \text{ м}$ ,  $z_k = 150 \text{ м}$ , где  $z_n$ ,  $z_k$  - высотные отметки начала и конца участка, соответственно) составляет на бензине ( $\rho_B = 740 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu_B = 0,6 \text{ сСт}$ ) 8,0 млн.т/год. Какова пропускная способность  $G_D$  того же участка трубопровода на дизельном топливе ( $\rho_D = 840 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu_D = 6,0 \text{ сСт}$ ), если известно, что давления в начале и конце участка при переходе с перекачки бензина на дизельное топливо не изменяются, а 1 год составляет 8400 часов?

### Примерные виды задач по 3 разделу курса:

1. Найти общий интеграл дифференциального уравнения. (Ответ представить в виде  $\psi(x, y) = C$ ).

$$y'y \sqrt{\frac{1-x^2}{1-y^2}} + 1 = 0.$$

2. Найти общий интеграл дифференциального уравнения.

$$y' = \frac{x+2y}{2x-y}.$$

3. Найти общий интеграл дифференциального уравнения.

$$y' = \frac{x+2y-3}{4x-y-3}.$$

4. Найти решение задачи Коши.

$$y' - y \cos x = \frac{1}{2} \sin 2x, y(0) = 0.$$

5. Решить задачу Коши.

$$y^2 dx + (xy - 1) dy = 0, y|_{x=1} = e.$$

6. Найти решение задачи Коши.

$$3(xy' + y) = y^2 \ln x, y(1) = 3.$$

7. Найти общий интеграл дифференциального уравнения.

$$(y^2 + y \sec^2 x) dx + (2xy + \operatorname{tg} x) dy = 0.$$

8. Для данного дифференциального уравнения методом изоклин построить интегральную кривую, проходящую через точку.

$$y' = xy, M(0,1).$$

9. Найти линию, проходящую через точку  $M_0$ , если отрезок любой ее касательной между точкой касания и осью  $Oy$  делится на точке пересечения с осью абсцисс в отношении  $a : b$  (считая от оси  $Oy$ ).

$$M_0(1,2), a : b = 2 : 1.$$

10. Найти общее решение дифференциального уравнения.

$$y''' \operatorname{ctg} 2x + 2y'' = 0.$$

11. Найти решение задачи Коши.

$$y'' = 72y^3, y(2) = 1, y'(2) = 6.$$

12. Найти общее решение дифференциального уравнения.

$$y''' + 3y'' + 2y' = 1 - x^2.$$

13. Найти общее решение дифференциального уравнения.

$$y''' - 4y'' + 5y' - 2y = (16 - 12x)e^{-x}.$$

14. Найти общее решение дифференциального уравнения.

$$y'' + y = 2 \cos 7x + 3 \sin 7x.$$

15. Найти общее решение дифференциального уравнения.

$$y'' + y = 2 \sin x - 6 \cos x + 2e^x.$$

16. Найти решение задачи Коши.

$$y'' + 4y = 4 \operatorname{ctg} 2x, y(\pi/4) = 3, y'(\pi/4) = 2.$$

### Перечень примерных тем реферативных работ

#### Примерный перечень тем реферативных работ 1 раздела курса:

1. Жесткие и мягкие математические модели. Качественные методы исследования дифференциальных уравнений. Математические модели трудноформализуемых объектов. Дифференциальные, интегральные и функциональные уравнения в математическом моделировании.

2. Математическое моделирование на основе фундаментальных законов природы. Метод анализа размерностей при построении физических моделей.

3. Теплогидродинамические модели сплошных сред. Закономерности развития сред по пространству и времени в условиях неизотермичности и многомасштабности процессов переноса.

4. Течение газа в скважинах и сопряженные задачи теплообмена.

5. Стационарное неизотермическое течение газа.

6. Теплогидродинамическое подобие и метод анализа размерностей в задачах нефтегазовой гидродинамики.

7. Использование уравнений макроскопических балансов для решения задач об установившихся течениях.

#### Примерный перечень тем реферативных работ 2 раздела курса:

1. Ламинарное течение в трубопроводе при наличии постоянного теплового потока к ее стенке. Асимптотическое решение для малых расстояний.

2. Расчет профилей поля скорости и температуры при установившемся турбулентном течении в трубопроводах с идеально гладкой стенкой.
3. Смещение двух потоков идеальных газов в трубопроводе в условиях стационарного турбулентного движения.
4. Конвективный массообмен. Диффузия в жидкостях и газах.
5. Распределение концентраций в твердых стенках и в ламинарном потоке. Формулировки решений диффузионных задач.
6. Сопротивление и тепломассообмен, сопровождающийся гомогенной и гетерогенной химической реакцией.
7. Термодиффузия. Бародиффузия. Динодиффузия. Многокомпонентные системы.
8. Теория пограничного слоя. Приближенные методы. Точные решения для одновременного переноса тепла, массы и импульса.
9. Современные методы расчета турбулентного течения и теплообмена при граничных условиях 1 и 2 рода для тепловых процессов.

### **Примерный перечень тем реферативных работ 3 раздела курса:**

1. Численные методы решения краевых задач. Разностные уравнения. Модификация метода прогонки. Решение сопряженных задач.
2. Технология численного анализа гидродинамики и теплообмена в трубопроводах переменного поперечного сечения.
3. Метод расчета процессов горения многокомпонентной смеси во внутренних системах переменного и постоянного поперечного сечения.
4. Алгоритмы и программы решения задач гидродинамики и тепломассопереноса при турбулентном течении с применением моделей турбулентности второго порядка.
5. Методы моделирования газовой опасности. Воспламенение смеси и тепловое поражение. Краткий анализ методики расчета локальных и интегральных параметров при сложном течении смесей.
6. Сравнительный анализ возможностей использования много-параметрических моделей турбулентности в предсказании низкорейнольдсовых движений в трубах. Выводы и рекомендации.

### **Перечень вопросов для промежуточной аттестации (Зачет с оценкой)**

1. Определение и назначение моделирования.
2. Классификация математических моделей.
3. Этапы построения математической модели.
4. Примеры математических моделей.
5. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности.
6. Закон сохранения импульса. Уравнение фильтрации.
7. Закон сохранения энергии. Уравнение теплопроводности.
8. Уравнения состояния. Линейные и нелинейные законы фильтрации.
9. Аналитические решения задач однофазной фильтрации. Стационарная и нестационарная фильтрация.
10. Одномерные и многомерные задачи фильтрации.
11. Конечно-разностные методы решения задач однофазной фильтрации. Дискретизация по времени и по пространству.
12. Аналитические методы решения задач многофазной фильтрации.
13. Конечно-разностные методы решения задач многофазной фильтрации.
14. Неявная схема для уравнений многофазной фильтрации. Метод совместного решения (SS-метод).
15. Метод, неявный по давлению и явный по насыщенности (IMPES-метод).
16. Математические модели жидкости (идеальная и вязкая жидкость, сжимаемая и несжимаемая жидкость, ньютоновская и неньютоновская жидкость).

17. Математические модели газообразных сплошных сред (совершенный газ, реальный газ).
18. Математическая модель упругого деформируемого трубопровода.
19. Ламинарное и турбулентное течение жидкости в трубопроводе.
20. Моделирование и расчет установившихся режимов работы трубопроводов.
21. Моделирование и расчет неустановившегося течения сжимаемой жидкости в трубопроводе.
22. Моделирование и расчет неустановившегося течения газа в газопроводе.
23. Распространение волн в трубопроводах. Гидравлический удар в трубопроводах.
24. Уравнения первого порядка. Общие методы интегрирования.
25. Линейные уравнения. Общие методы интегрирования.
26. Линейные уравнения с постоянными коэффициентами. Общие методы интегрирования.
27. Нелинейные уравнения второго порядка. Фазовая плоскость. Особые точки. Устойчивость решения по Ляпунову.
28. Уравнения первого порядка. Уравнения с двумя переменными. Задача с начальными условиями (задача Коши).
29. Уравнения второго порядка с двумя переменными. Классификация уравнений. Преобразование уравнений к каноническому виду.
30. Характеристики уравнения. Решение гиперболических уравнений методом характеристик.
31. Типичные краевые задачи для уравнений второго порядка
32. Волновое уравнение. Частные решения для волнового уравнения.
33. Уравнение Лапласа. Частные решения для уравнения Лапласа.
34. Уравнение диффузии. Частные решения для уравнения диффузии.
35. Плоские установившиеся фильтрационные потоки. Взаимодействие скважин.
36. Неустановившееся движение сжимаемой жидкости в упругой пористой среде.
37. Расчет показателей разработки на основе решения Бэкли-Левверетта.
38. Модель вытеснения Раппорта-Лиса.
39. Ламинарное и турбулентное течение вязкой жидкости в круглой трубе.
40. Нестационарные течения слабо сжимаемой жидкости в трубопроводе.
41. Решение дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.
42. Решение волнового уравнения. Метод Даламбера.
43. Решение начально-краевых задач для уравнения теплопроводности.

## Примерная структура билета для зачета с оценкой



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

### БИЛЕТ № 1

по дисциплине Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли.  
Методы математической физики  
(наименование дисциплины)

Направление подготовки 21.04.01 Факультет НТФ Семестр 1  
(шифр) (наименование факультета) (номер)

1. Математическая модель упругого деформируемого трубопровода.
2. Расчет показателей разработки на основе решения Бэкли-Лeverетта.

Составитель:

\_\_\_\_\_ профессор В.И. Астафьев

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ В.В. Коновалов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года

## Приложение 4

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К АУДИТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### 1. Общие сведения

| Вид учебных занятий           | Организация деятельности студента   |
|-------------------------------|---|
| Лекция                        | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии. |
| Практические занятия          | Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, самостоятельное изучение теоретического материала, выступление с докладом по результатам подготовки к практическим занятиям с представлением иллюстрационного материала в виде презентации Microsoft PowerPoint.   |
| Подготовка к зачету с оценкой | При подготовке к зачету с оценкой необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, материалы практических занятий.   |

#### 2. Методические рекомендации по проведению лекционных занятий

**Лекция** представляет собой систематическое устное изложение учебного материала. С учетом целей и места в учебном процессе различают лекции вводные, установочные, текущие, обзорные и заключительные. В зависимости от способа проведения выделяют лекции:

- информационные;
- проблемные;
- визуальные;
- бинарные (лекция-диалог);
- лекции-провокации;
- лекции-конференции;
- лекции-консультации;
- лекции-беседы;
- лекция с эвристическими элементами;
- лекция с элементами обратной связи;
- лекция с решением производственных и конструктивных задач;
- лекция с элементами самостоятельной работы студентов;
- лекция с решением конкретных ситуаций;
- лекция с коллективным исследованием;
- лекции спецкурсов.

Лекции по настоящей дисциплине проводятся в форме информационных, т.е. с использованием объяснительно иллюстративного метода изложения.

Перед началом лекции до обучающихся доводятся основные литературные источники, сообщается тема лекции и последовательность вопросов, подлежащих рассмотрению. При этом обращается внимание на логику построения вопросов, их формулировку и взаимосвязь.

По ходу лекции при возникновении проблемных вопросов (или ситуаций) процесс познания происходит через научный поиск, диалог, анализ, сравнение разных точек зрения.

При объяснении различных вопросов большое значение имеет иллюстрационный материал (формы документов, структур систем управления и проч.), поэтому в случае их сложного или долгого воспроизводства на лекции используется раздаточный материал.

Обращается внимание на вопросы, сведения из которых будут использоваться при проведении практических и лабораторных занятий и самостоятельной работе студентов. В Рабочей программе приводится содержание лекций и вопросы, выносимые на самостоятельное изучение с учетом дидактических единиц.

В некоторых случаях преподавателем может использоваться способ индивидуального общения, построенный на непосредственном контакте преподавателя и студента, который позволяет привлекать к двухстороннему обмену мнениями по наиболее важным вопросам темы занятия, менять темп изложения с учетом особенности аудитории.

В начале лекции и по ходу ее преподаватель задает слушателям вопросы не для контроля усвоения знаний, а для выяснения уровня осведомленности по рассматриваемой проблеме. Вопросы могут быть элементарными: для того, чтобы сосредоточить внимание, как на отдельных нюансах темы, так и на проблемах. Продумывая ответ, студенты получают возможность самостоятельно прийти к выводам и обобщениям, которые хочет сообщить преподаватель в качестве новых знаний. При этом необходимо следить, чтобы вопросы не оставались без ответа, иначе лекция будет носить риторический характер.

Обратная связь устанавливается посредством ответов студентов на вопросы преподавателя по ходу лекции. Чтобы определить осведомленность студентов по излагаемой проблеме, в начале какого-либо раздела лекции задаются необходимые вопросы.

Если студенты правильно отвечают на вводный вопрос, преподаватель может ограничиться кратким тезисом или выводом и перейти к следующему вопросу. Если же ответы не удовлетворяют уровню желаемых знаний, преподаватель сам излагает подробный ответ, и в конце объяснения снова задает вопрос, определяя степень усвоения учебного материала.

#### Рекомендации обучающимся при работе с лекционным материалом:

1. Материал каждой законспектированной лекции должен прочитываться и прорабатываться с выявлением затрудненных в понимании вопросов и неясностей.
2. Необходимо попытаться добиться ясности понимания с использованием проработки рекомендованных литературных источников.
3. Если и в этом случае не удаётся добиться результата, то следует получить консультацию преподавателя по этому вопросу.
4. Следует посмотреть, как этот вопрос формулируется в вопросах для подготовки к экзамену и быть готовым представить по нему информацию при проведении экзамена.



### 3. Методические рекомендации по проведению практических занятий

**Практическое занятие** — форма организации обучения, которая направлена на формирование практических умений и навыков и является связующим звеном между самостоятельным теоретическим освоением студентами учебной дисциплины и применением ее положений на практике.

Практические занятия по дисциплине проводятся в целях выработки практических умений и приобретения навыков в решении управленческих задач, выполнении заданий, разработке и оформлении документов, практического овладения компьютерными технологиями. Главным их содержанием является практическая работа каждого студента.

Подготовка студентов к практическому занятию – один из видов самостоятельной работы в рамках данной дисциплины. Подготовка производится по вопросам, разработанным для каждой темы практических занятий. Данная информация доводится до студентов заранее. По желанию обучающихся, они могут не только составить конспект по материалам подготовки к практическому занятию, но и подготовить доклад по соответствующей теме, которая формулируется самим обучающимся и согласуется с преподавателем. Доклад иллюстрируется с помощью презентации Microsoft PowerPoint. Рекомендации по выполнению самостоятельной работы представлены в соответствующих методических указаниях.

Работа студентов во время практического занятия осуществляется на основе заданий, которые выдаются обучающимся в начале занятия. Предварительно преподаватель проводит устный опрос по материалам подготовки к практическому занятию.

Практические занятия составляют значительную часть всего объема аудиторных занятий и имеют важнейшее значение для усвоения программного материала. Выполняемые задания могут быть:

- 1) иллюстрацией теоретического материала и носить воспроизводящий характер; они выявляют качество понимания студентами теории;
- 2) образцами задач и примеров, разобранных в аудитории; для самостоятельного выполнения требуется, чтобы студент овладел показанными методами решения;
- 3) видом заданий, содержащим элементы творчества; одни из них требуют от студента обобщений, для их выполнения необходимо привлекать ранее приобретенный опыт, устанавливать внутрисубъектные и межпредметные связи; решение других требует дополнительных знаний, которые студент должен приобрести самостоятельно; третьи предполагают наличие у студента некоторых исследовательских умений;
- 4) может применяться выдача индивидуальных или опережающих заданий на различный срок, определяемый преподавателем, с последующим представлением их для проверки в указанный срок.

По данной дисциплине предусмотрено проведение 13 практических занятий длительностью 2 академических часа каждое. Темы практических занятий приведены в Разделе 4.2 Рабочей программы.

В начале занятия рассматриваются основные теоретические положения, положенные в основу занятия. Обращается внимание на основные понятия, расчетные формулы, алгоритмы, практическую значимость рассматриваемых вопросов. Далее студентам предлагаются определенные условия (задачи), для которых требуется выполнить расчет определенных параметров или выработать определенные технологические решения. Задания могут быть групповые и индивидуальные. В зависимости от сложности предлагаемых заданий, целей занятия, общей подготовки обучающихся преподаватель может подсказать обучающимся алгоритм решения, или первое действие, или указать общее направление рассуждений. Полученные результаты обсуждаются с позиций их адекватности или эффективности в рассмотренной ситуации.

## 5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Поскольку учебная дисциплина призвана формировать несколько дескрипторов компетенций, процедура оценивания реализуется поэтапно:

**1-й этап:** оценивание уровня достижения каждого из запланированных результатов обучения – дескрипторов (знаний, умений, владений) в соответствии со шкалами и критериями, установленными картами компетенций ОПОП (Приложение к ОПОП 1-3). Экспертной оценке преподавателя подлежат уровни сформированности отдельных дескрипторов, для оценивания которых предназначена данная оценочная процедура текущего контроля или промежуточной аттестации согласно матрице соответствия оценочных средств результатам обучения по дисциплине (раздел 3 Фонда оценочных средств).

**2-й этап:** интегральная оценка достижения обучающимся запланированных результатов обучения по итогам отдельных видов текущего контроля и промежуточной аттестации.

### Характеристика процедур текущего и итогового контроля по дисциплине «Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли. Методы математической физики»

| №  | Наименование оценочного средства*               | Периодичность и способ проведения процедуры оценивания | Методы оценивания                                      | Виды выставляемых оценок | Способ учета индивидуальных достижений обучающихся                            |
|----|---|--|--|--------------------------|---|
| 1. | Отчет по практическим занятиям (собеседование); | систематически на занятиях                             | экспертный, групповая оценка, взаимооценка, самооценка | зачтено /не зачтено      | журнал учета успеваемости   |
| 2. | Индивидуальное домашнее задание, РГР            | систематически на занятиях                             | экспертный, взаимооценка                               | зачтено /не зачтено      | журнал учета успеваемости, портфолио  |
| 3. | реферат   | По итогам выполнения работы и допуска к защите         | экспертный, групповая оценка, взаимооценка, самооценка | зачтено /не зачтено      | журнал учета успеваемости, портфолио  |
| 4. | Зачет с оценкой                                 | раз в семестр, по окончании изучения дисциплины        | экспертный   | по пятибалльной шкале    | ведомость, зачетная книжка и учебная карточка, индивидуальный план, портфолио |

Удовлетворительная оценка по дисциплине, может выставляться и при неполной сформированности компетенций в ходе освоения отдельной учебной дисциплины, если их формирование предполагается продолжить на более поздних этапах обучения, в ходе изучения других учебных дисциплин.