

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)  
МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан механико-математического  
факультета  
Л.В. Гензе

Оценочные материалы по дисциплине

**Теория фильтрации**

по направлению подготовки

**01.04.03 Механика и математическое моделирование**

Направленность подготовки:  
**«Механика жидкости, газа и нефтегазотранспортных систем»**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
А.М. Бубенчиков

Председатель УМК  
Е.А. Тарасов

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующей компетенции:

– ПК-1 – Способность самостоятельно решать исследовательские задачи в рамках реализации научного (научно-технического, инновационного) проекта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Проводит исследования, направленные на решение отдельных исследовательских задач;

ИПК-1.2. Определяет способы практического использования научных (научно-технических) результатов;

ИПК-1.3. Осуществляет наставничество в процессе проведения исследований.

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля: типовые задания для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплине (примеры заданий, выполняемых на практических занятиях):

1. Рассматривается одномерная область, представляющая собой прямолинейную галерею. Известны параметры среды, заполняющей объём, такие как пористость и проницаемость, плотность и динамическая вязкость движущейся среды, а также начальное распределение давления в области. На границах тела давление поддерживается постоянным. Необходимо создать математическую модель, описывающую течение жидкости в пористой среде и выполнить её численную реализацию с помощью метода конечных объёмов и подходящего метода решения системы линейных уравнений, подготовить компьютерную программу на языке C++, позволяющую получить распределение давления в области в любой момент времени. Протестировать программу для различных значений давления в начальных и граничных условиях. (ИПК-1.1)

2. Создать математическую модель однофазного фильтрационного течения в двумерной области прямоугольной формы, используя известные значения давления на границах области и в начальный момент времени. Выполнить дискретизацию определяющих уравнений с помощью метода конечных объёмов. Написать программу на языке C++, используя подходящий метод решения системы дискретных уравнений и принципы объектно-ориентированного программирования, позволяющую получить распределение давления и поле скорости в расчётной области для любого момента времени. Протестировать программу для различных значений давления в начальных и граничных условиях. (ИПК-1.1)

3. Рассматривается двумерная область, представляющая собой пласт пористой среды. Известны параметры среды, такие как пористость и проницаемость, плотность и динамическая вязкость жидкости, заполняющей пустоты, а также начальное распределение давления в области. На границах тела давление поддерживается постоянным. Через нагнетательные скважины в пласт закачивается жидкость с другой степенью смачивания пористой среды. Необходимо создать математическую модель, описывающую вытеснение подаваемой жидкостью той, что находится в пустотах изначально и выполнить её численную реализацию с помощью метода конечных объёмов, IMPES схемы и подходящего метода решения системы линейных уравнений, подготовить компьютерную программу на языке C++, позволяющую получить распределение давления и насыщенности в области в любой момент времени. Протестировать программу для различных значений давления в начальных и граничных условиях. (ИПК-1.1, ИПК-1.2)

### **3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

К экзамену допускаются студенты, успешно защитившие компьютерные программы, написанные при выполнении заданий. В процессе таких защит проверяются ИПК-1.1, ИПК-1.2. ИПК-1.3 проверяется во время ответов на теоретические вопросы во время экзамена. Список вопросов:

1. Основные понятия теории фильтрации.
2. Закон Дарси.
3. Число Рейнольдса в теории фильтрации. Закон Форхгеймера.
4. Закон сохранения массы.
5. Уравнения однофазной фильтрации. Начальные и граничные условия.
6. Использование метода контрольного объёма для решения задачи однофазной фильтрации несжимаемой жидкости.
7. Плоскорадиальная фильтрация несжимаемой жидкости.
8. Формула Дюпюи.
9. Несовершенство скважин. Скин-эффект. Приведённый радиус.
10. Учёт скважин при численном моделировании.
11. Понятия насыщенности, относительной фазовой проницаемости. Капиллярное давление. Обобщённый закон Дарси.
12. Закон сохранения массы для отдельной фазы в двухфазном течении.
13. Уравнение Рапопорта-Лиса.
14. Уравнение Рапопорта-Лиса в безразмерной форме. Начальные и граничные условия.
15. Задача Баклея-Левверетта.
16. Условие сохранения массы на скачке насыщенности в задаче Баклея-Левверетта. Определение положения скачка и насыщенности на нём.
17. Использование метода контрольного объёма для решения задачи двухфазной фильтрации несжимаемой жидкости и сжимаемого газа.
18. Линеаризация дискретных уравнений двухфазной фильтрации с помощью метода Ньютона (вычисление производных по значениям в текущем объёме).
19. Линеаризация дискретных уравнений двухфазной фильтрации с помощью метода Ньютона (вычисление производных по значениям в соседних объёмах).
20. Решение СЛАУ с матрицей Якоби блочным методом Гаусса-Зейделя.
21. Преобразования уравнений двухфазной фильтрации для применения IMPES схемы. Её ограничения, недостатки и преимущества.
22. Использование метода контрольного объёма и IMPES схемы для решения задачи двухфазной фильтрации.
23. Трещиноватые и трещиновато-пористые среды. Модель трещиноватой среды с упорядоченной системой трещин.
24. Формула Буссинеска для течения вязкой жидкости в узкой щели.
25. Зависимость характеристик трещиноватой среды от давления.
26. Уравнения неразрывности для трещиновато-пористой среды.
27. Переток жидкости между трещинами и порами. Время запаздывания.
28. Закон Дарси, понятия коэффициента фильтрации и пьезометрического напора в теории движения грунтовых вод.
29. Зависимость плотности жидкости и характеристик пористой среды от давления. Горное давление.
30. Уравнение плановой фильтрации.

Критерии оценивания:

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется, если студент защитил на отлично все практические задания и дал развёрнутый ответ на теоретический вопрос.

Оценка «хорошо» выставляется, если студент защитил все практические задания на соответствующую оценку и дал ответ на теоретический вопрос с незначительными ошибками.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если студент защитил все практические задания и дал неполный ответ на теоретический вопрос.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если студент не защитил все практические задания или не смог дать ответ на теоретический вопрос.

#### **4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)**

1. В каких единицах измеряется проницаемость? (ИПК-1.1)
2. Что такое пористость? В чём она измеряется? (ИПК-1.1)
3. Сформулируйте закон Дарси без учёта гравитационных сил. (ИПК-1.1)
4. Запишите формулу Дюпюи. (ИПК-1.1)
5. Сформулируйте основные предположения плоскорадиальной фильтрации. (ИПК-1.2)
7. Запишите формулу Писмена. (ИПК-1.2)
8. Перечислите основные этапы разработки компьютерной программы для численных расчётов фильтрационных течений. (ИПК-1.2, ИПК-1.3)
9. Что представляет собой капиллярное давление. (ИПК-1.1)
10. Чему равна сумма насыщенных сред, заполняющих пустоты пористой среды? (ИПК-1.1)
11. Сформулируйте обобщённый закон Дарси. (ИПК-1.2)
12. Что представляют собой относительные фазовые проницаемости? (ИПК-1.2)
13. Как определяется густота трещин? (ИПК-1.1)
14. Что такое фактор формы трещиновато-пористой среды? (ИПК-1.2)
15. Как используется формула Буссинеска для течения вязкой жидкости в узкой щели в теории фильтрации? (ИПК-1.3)

#### **5. Информация о разработчиках**

Диль Денис Олегович, к.ф.-м.н., кафедра теоретической механики, доцент