

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

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан ММФ ТГУ
Л. В. Гензе

Рабочая программа дисциплины

Математическое моделирование фильтрации через пористые среды

по направлению подготовки

01.04.01 Математика

Направленность (профиль) подготовки :

Математический анализ и моделирование (Mathematical Analysis and Modelling)

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

Год приема

2023, 2024

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
А.В. Старченко

Председатель УМК
Е.А. Тарасов

Томск – 2023

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен формулировать и решать актуальные и значимые проблемы математики.

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

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Формулирует поставленную задачу, пользуется языком предметной области, обоснованно выбирает метод решения задачи.

ИПК 1.1 Проводит исследования, направленные на решение отдельных исследовательских задач

2. Задачи освоения дисциплины

Научиться формулировать простые математические модели процессов фильтрации жидкостей и газов в различных по своей структуре пористых средах, а также применять в исследованиях математические и численные модели фильтрационных течений (ИПК 1.1).

Научиться анализировать результаты расчётов и делать выводы по применимости сформулированных математических моделей к месторождениям нефти и газа (ИПК 1.1).

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Второй семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Современные вычислительные технологии в механике жидкости и газа.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 часов, из которых:

-лекции: 32 ч.

-практические занятия: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Однофазная фильтрация.

Основные понятия однофазной фильтрации, закон Дарси. Закон сохранения массы. Плоскорадиальная фильтрация. Формула Дюпюи. Формула Писмена. (ИОПК 1.1)

Тема 2. Метод конечных объёмов.

Построение дискретных аналогов определяющих уравнений. Схемы дискретизации по времени и пространству. (ИОПК 1.1, ИПК 1.1)

Тема 3. Работа с сеточными генераторами.

Создание различных типов сеток, определение начальных и граничных условий для разных областей сетки. (ИОПК 1.1)

Тема 4. Создание программного кода для задач теории фильтрации.

Создание компьютерных программ на языке C++, создание и использование классов элементов и узлов расчётной сетки, а также класса самой сетки, обработка и использование данных из файлов, созданных в сеточных генераторах. (ИОПК 1.1, ИПК 1.1)

Тема 5. Методы решения СЛАУ.

Методы прогонки, верхней релаксации, получение и анализ результатов. (ИОПК 1.1, ИПК 1.1)

Тема 6. Двухфазная фильтрация.

Основные понятия многофазной фильтрации. Обобщённый закон Дарси. Закон сохранения массы для каждой из фаз. Преобразование уравнений при использовании IMPES схемы для дискретизации по времени. (ИОПК 1.1)

Тема 7. Фильтрация в средах с двойной пористостью.

Разновидности пустот в пористых средах. Основные понятия, используемые при описании течений в трещиноватых средах. Закон сохранения массы в средах с двойной пористостью. (ИПК 1.1)

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проверки и защиты компьютерных программ, написанных студентами, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. При проверке программ оцениваются навыки использования численных методов для решения задач теории фильтрации (ИОПК 1.1), а также умение студента проанализировать полученные результаты (ИПК 1.1).

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен во втором семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов:

1. Основные понятия теории фильтрации.
2. Закон Дарси. Закон сохранения массы.
3. Уравнения однофазной фильтрации. Начальные и граничные условия.
4. Использование метода конечных объёмов для решения задачи однофазной фильтрации несжимаемой жидкости.
5. Плоскорadiaльная фильтрация несжимаемой жидкости.
6. Формула Дюпюи. Учёт скважин при численном моделировании.
7. Понятия насыщенности, относительной фазовой проницаемости. Капиллярное давление. Обобщённый закон Дарси.
8. Использование метода контрольного объёма для решения задачи двухфазной фильтрации.
9. Преобразования уравнений двухфазной фильтрации для применения IMPES схемы. Её ограничения, недостатки и преимущества.
10. Использование метода контрольного объёма и IMPES схемы для решения задачи двухфазной фильтрации.
11. Трещиноватые и трещиновато-пористые среды.
12. Уравнения неразрывности для трещиновато-пористой среды.

При ответе на данные вопросы оценивается понимание студентом основных математических моделей теории фильтрации и методов решения уравнений в частных производных, описывающих течения в пористых средах (ИОПК 1.1), умение студента делать выводы относительно применимости сформулированных математических моделей

к месторождениям нефти и газа, а также понимание структуры и основных этапов решения задач теории фильтрации (ИПК 1.1).

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

Оценка «отлично» ставится в том случае, если студент демонстрирует сформированные, систематические знания основных понятий и задач теории фильтрации. «Хорошо» - студент демонстрирует сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных понятий и задач теории фильтрации. «Удовлетворительно» - студент демонстрирует общие, но не структурированные знания основных понятий и задач теории фильтрации.

Оценка «неудовлетворительно» ставится в том случае, если студент демонстрирует частные, фрагментарные, неструктурированные знания основных понятий и задач теории фильтрации, либо знания полностью отсутствуют.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «ИДо» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=12928>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

в) План практических занятий по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Frank A. Coutelieiris, J.M.P.Q. Delgado. Transport Processes in Porous Media. Springer, 2012, 236 pp.

2. Anvarbek Meirmanov. Mathematical Models for Poroelastic Flows. Springer, 2014, 449 pp.

3. Numerical Analysis of Heat and Mass Transfer in Porous Media / edited by J.M.P.Q. Delgado, Antonio Gilson Barbosa Lima, Marta Vázquez Silva. Springer, 2012, 316 pp.

б) дополнительная литература:

1. Alfio Quarteroni. Numerical Models for Differential Problems. Springer, 2014, 658 pp.

2. Nonlinear Analysis of Gas-Water/Oil-Water Two-Phase Flow in Complex Networks / Zhong-Ke Gao, Ning-De Jin, Wen-Xu Wang. Springer, 2014, 103 pp.

3. Selected Topics of Computational and Experimental Fluid Mechanics /edited by Jaime Klapp et al. Springer, 2015, 548 pp.

в) ресурсы сети Интернет:

– <http://e-science.sources.ru/> – портал естественных наук

– <http://www.coursera.org/> – сайт обучающих курсов ведущих вузов мира

– <https://ocw.mit.edu/index.htm> – сайт открытых онлайн-курсов

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

• операционные системы: Microsoft Windows 7

• средства разработки приложений и СУБД: Microsoft Visual Studio 2015

• пакеты математической и графической обработки данных: Golden Software Grapher, Golden Software Surfer

• пакеты для решения задач вычислительной гидродинамики: Gmsh

- б) информационные справочные системы:
- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
 - Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
 - ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
 - Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
 - ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
 - ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Интерактивный набор (доска Smart с проектором, экран и проектор EPSON)
13 Компьютеров

15. Информация о разработчиках

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

Course curriculum

1. Course Aims

The purpose of mastering the course is a study of general concepts, terms and models (physical, mathematical and numerical) for describing fluid flows in porous media.

PC-1 Able to independently solve research problems of a scientific (scientific, technical, innovative) project

IPC-1.1 Able to do research aimed at solving individual research problems

IPC-1.2 Determines the ways of practical use of scientific (scientific and technical) results

IPC-1.3 Provides mentoring in the research process.

2. Course problems

Learn to formulate simple physical and mathematical models of single-phase and two-phase flows in porous medium, as well as apply mathematical and numerical models of this processes in research work.

Learn to apply finite volume method for discretization of constitutive equations on structured and unstructured computational grids.

3. Course place and impact in the curriculum

This course is a one of the courses of Professional cycle, selective course in block 3 of elective part of education program.

Filtration theory in porous media is a basic course for master students who chose specialization on scientific topics of Theoretical Mechanics Department. It is a fundamental base for research project work in student's research practical training.

4. Semester(s) of mastering and form(s) of intermediate assessment in the discipline

Second semester, exam

5. Entrance requirements for mastering the course

Successful mastering of the course requires competencies formed in the process of mastering educational programs of the previous level of education.

6. Language of instruction

English

7. Course structure

The total laboriousness of the course is 6 credits, 216 hours, of which:

-lectures: 32 h.

-practices: 32 h.

including practical training: 0 h.

The amount of independent work of the student is determined by the curriculum.

8. Course content

Topic 1. Single-phase flows in porous media.

Basic concepts, Darcy's law. The law of conservation of mass. Planar flows in porous media. Dupuis formula.

Topic 2. Finite volume method.

Construction of discrete analogues for constitutive equations. Schemes for discretization in space and time.

Topic 3. Working with mesh generators.

Constructing of various types of meshes, determination of initial and boundary conditions for different parts of the mesh.

Topic 4. Creation of program code for problems of fluid flows in porous media.

Writing computer programs in C++, creating and using classes of elements and nodes of the computational grid, as well as the class of the mesh itself, processing and using data from files created in mesh generators.

Topic 5. Methods for solving SLAE.

Methods of sweeping, upper relaxation, obtaining and analyzing results.

Topic 6. Two-phase flows in porous media.

Basic concepts, generalized Darcy's law. The law of conservation of mass for each individual phase. Equation transformation using the IMPES scheme for time discretization.

Topic 7. Flows in media with double porosity.

Types of voids in porous media. Basic concepts used in the description of flows in fractured media. The law of conservation of mass in media with double porosity.

9. Students' progress active monitoring

During the implementation of the course, classical educational technologies are used – lectures, practical classes, and independent study of materials by students, testing knowledge through tests and exams. To conduct ongoing monitoring of the self-study work, the teacher can conduct small tests at the beginning of each lesson.

The questions of the exam are a generalization of the questions of the current control tests and allow assessing the level of competence formation and understanding of the formation of the physical picture within these sections.

10. Course guideline for students and exam policy

For the successful mastering of the material, students need to use the sources, information systems and databases that are presented in the list of references. Independent work of students consists in the study of lecture material, material from practical classes and independent study of additional issues, a deeper analysis of lectures with the help of additional literature.

Final assessment will be carried out by evaluating computer programs, prepared by students and oral answers to questions. When answering a question, the completeness and accuracy of the answer, the logic and reasoning of the presentation of the material are evaluated.

Sample list of questions for exam

1. Basic concepts for single-phase flows in porous media.
2. Darcy's law. The law of conservation of mass.
3. Equations for modelling single-phase flows in porous media. Initial and boundary conditions.
4. Using of finite volume method for solving problem of single-phase flow of incompressible fluid in porous medium.
5. Planar flow of incompressible fluid in porous medium.
6. Dupuis formula. Well accounting in numerical modeling.
7. Concepts of saturation, phase relative permeability. Capillary pressure. Generalized Darcy's law.
8. Using of finite volume method for solving problem of two-phase flow in porous medium.
9. Equation transformation using the IMPES scheme for time discretization. Its limitations, disadvantages and advantages.
10. Using of finite volume method and IMPES scheme for solving problem of two-phase flow in porous medium.
11. Fractured media. Media with double porosity.
12. The law of conservation of mass in media with double porosity.

Evaluation of the answer	Criteria
(Great)	The correct and detailed answer to the question is given. The student clearly and logically stated his answer to the question.
(Good)	The correct answer to the question is given, but not everything is presented in detail and logically structured.
(Satisfactory)	In general, the correct answer to the question is given, but it is stated superficially and in violation of the logic of presentation.
(Unsatisfactory)	The answer is presented very superficially and in violation of the logic of presentation. The student has a very poor command of the basic models and concepts. Significant terminological and factual errors were made.
	An incorrect answer was given, a clear misunderstanding of the question.

11. Education technologies and methodical support for course realization

- a) Online course on TSU LMS platform «IDo» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=9569>
- б) Tests and exam materials for this course

12. Course literature and resources

a) Primary course literature.

1. Frank A. Coutelieris, J.M.P.Q. Delgado. Transport Processes in Porous Media. Springer, 2012, 236 pp.
2. Anvarbek Meirmanov. Mathematical Models for Poroelastic Flows. Springer, 2014, 449 pp.
3. Numerical Analysis of Heat and Mass Transfer in Porous Media / edited by J.M.P.Q. Delgado, Antonio Gilson Barbosa Lima, Marta Vázquez Silva. Springer, 2012, 316 pp.

b) Additional course literature.

4. Alfio Quarteroni. Numerical Models for Differential Problems. Springer, 2014, 658 pp.
5. Nonlinear Analysis of Gas-Water/Oil-Water Two-Phase Flow in Complex Networks / Zhong-Ke Gao, Ning-De Jin, Wen-Xu Wang. Springer, 2014, 103 pp.
6. Selected Topics of Computational and Experimental Fluid Mechanics /edited by Jaime Klapp et al. Springer, 2015, 548 pp.

c) Databases and information and reference systems

- <http://e-science.sources.ru/>
- <http://www.coursera.org/>
- <https://ocw.mit.edu/index.htm>

13. Software list and internet resources

Microsoft Windows 7, Microsoft Windows 10
Microsoft Visual Studio 2015, Intel Fortran/C/C++ Compiler 15
Gmsh, Golden Software Surfer 8;

Resources:

- TSU library E-catalog – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- TSU E-library – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- <http://e.lanbook.com/>
- <http://www.studentlibrary.ru/>
- <https://urait.ru/>
- <https://znanium.com/>
- <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Education and technical equipment

Classical audiences with a whiteboard, a projector and a computer with a pre-installed Microsoft Office 2010 office suite will use for lectures. Classrooms 314, 316, 319 will use for practical classes and independent work of students.

№№314, 316

PC

- LCD monitor BENQ 21.5”
- CPU Intel core i5-2400, 3.40 GHz
- RAM: 4 GB
- HDD 500 GB
- Nvidia GTS 450

№ 319

PC:

- Monitor LG 24"
- CPU Intel Core i7-4790 3.60GHz
- RAM 16 GB
- HDD 1 TB

15. Teaching staff

Associate professor, PhD, Denis Dil