

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Е.А. Турилова

28 февраля 2025 г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Теория многофазной фильтрации

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Аэрогидромеханика и механика нефтегазового пласта

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
 - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
 - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): заведующий кафедрой, д.н. Поташев К.А. (Кафедра аэрогидромеханики, отделение механики), KPotashев@mail.ru

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-4	Способен применять методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

основные факторы, влияющие на распределение и совместную фильтрацию отдельных фаз в пористой среде;

- постановку основных задач подземной гидродинамики в рамках многофазной фильтрации и методы их решения;
- способы описания капиллярных эффектов в случаях двух- и трехфазного насыщения;
- способы моделирования движения газированной жидкости в пористой среде.

Должен уметь:

- правильно выбирать необходимую модель для решения поставленной задачи многофазной фильтрации;

- правильно ставить граничные условия для различных задач многофазной фильтрации.

Должен владеть:

Теоретическими и практическими знаниями о постановках и методах решения основных задач теории многофазной фильтрации флюидов в пористой среде.

Должен демонстрировать способность и готовность:

решения различных задач теории многофазной фильтрации несмешивающихся флюидов через пористые среды с использованием приобретенных теоретических знаний и практических навыков.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.03 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.04.03 "Механика и математическое моделирование (Аэрогидромеханика и механика нефтегазового пласта)" и относится к части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 1 курсе в 2 семестре.

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) на 108 часа(ов).

Контактная работа - 46 часа(ов), в том числе лекции - 16 часа(ов), практические занятия - 30 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 26 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен во 2 семестре.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- мestr	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практические занятия, всего	Практические в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Основные понятия теории многофазной фильтрации	2	2	0	4	0	0	0	2
2.	Тема 2. Вытеснение из пористой среды одной несмешивающейся жидкости другой	2	2	0	4	0	0	0	4
3.	Тема 3. Структура течения при мелкомасштабном описании	2	2	0	4	0	0	0	4
4.	Тема 4. Описание трехфазной фильтрации	2	2	0	4	0	0	0	2
5.	Тема 5. Дополнительные разделы теории многофазной фильтрации	2	2	0	4	0	0	0	6
6.	Тема 6. Методы ремасштабирования фильтрационно-емкостных свойств резервуаров	2	3	0	6	0	0	0	6
7.	Тема 7. Методы интерпретации инструментальных измерений для идентификации фильтрационно-емкостных свойств резервуаров	2	3	0	4	0	0	0	2
	Итого		16	0	30	0	0	0	26

4.2 Содержание дисциплины (модуля)

Тема 1. Основные понятия теории многофазной фильтрации

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Распределение несмешивающихся фаз в пористой среде. Фазовая насыщенность. Капиллярное давление. Капиллярное равновесие в пористой среде. Гистерезис капиллярного давления. Обобщенный закон Дарси. Функция Леверетта. Фазовые проницаемости. Уравнения двухфазной фильтрации. Среднее давление для несжимаемых жидкостей.

практическое занятие (5 часа(ов)):

Простейшие емкостные расчеты запасов по распределению несмешивающихся фаз в пористой среде. Оценка величин капиллярного давления и состояния капиллярного равновесия в пористой среде.

Тема 2. Вытеснение из пористой среды одной несмешивающейся жидкости другой

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Задача Баклея-Леверетта. Крупномасштабное описание. Скачок насыщенности. Распространение скачка насыщенности. Геометрическая интерпретация. Лабораторные измерения функций, определяющих процесс вытеснения.

практическое занятие (5 часа(ов)):

Определение величины скачка насыщенности по функции Баклея-Леверетта. Определение фронтальной и средней насыщенности в безводный период добычи нефти. Расчет насыщенности после прорыва воды. Расчет коэффициента нефтеотдачи. Расчет параметров

вытеснения при заданном перепаде давления на границах пласта.

Тема 3. Структура течения при мелкомасштабном описании

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Структура течения при мелкомасштабном описании. Стабилизированная зона. Границные условия и концевые эффекты при мелкомасштабном описании. Капиллярная пропитка.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Выбор математических моделей и формулировка граничных условий для различных постановок задач теории многофазной фильтрации.

Тема 4. Описание трехфазной фильтрации

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Описание трехфазной фильтрации. Подход Ленарда и Паркера к описанию капиллярных давлений при трехфазном насыщении пористой среды.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Расчет равновесного капиллярно-гравитационного распределения флюидов при трехфазном насыщении пористой среды по заданным капиллярным характеристикам.

Тема 5. Дополнительные разделы теории многофазной фильтрации

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Влияние силы тяжести на двухфазную фильтрацию флюидов. Движение газированной жидкости в пористой среде.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Семинарское занятие с представлением различных задач многофазной фильтрации, где необходим учет тех или иных дополнительных факторов, с формулировкой соответствующих математических моделей.

Тема 6. Методы ремасштабирования фильтрационно-емкостных свойств резервуаров

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Построение разностных схем для уравнений двухфазной фильтрации несжимаемых жидкостей. Обзор методов ремасштабирования (апскейлинга) фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) резервуаров.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Семинарское занятие с докладами примеров реализаций и сопоставления различных методов апскейлинга ФЕС.

Тема 7. Методы интерпретации инструментальных измерений для идентификации фильтрационно-емкостных свойств резервуаров

Обзор методов идентификации ФЕС резервуаров с помощью проведения инструментальных замеров, таких как кривые восстановления давления, профили приемистости и другие промыслово-геофизические исследования. Модели интерпретации КВД в различных типах пористых коллекторов.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Семинарское занятие с докладами о современном состоянии в области методов идентификации ФЕС резервуаров с помощью проведения инструментальных измерений.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);

- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;
- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Water Resources Research - [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/\(ISSN\)1944-7973](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/(ISSN)1944-7973)

Научная электронная библиотека - <http://elibrary.ru/>

НЕФТЬ-ГАЗ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА - <http://www.dobi.oglib.ru>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Студентам необходимо посещать лекции, вести конспект лекций вслед за изложением материала преподавателем. Рекомендуется прорабатывать конспект в течение дня после лекции и просматривать его вновь накануне следующей лекции. В случае обнаружения ошибок или возникновения вопросов по предыдущему материалу необходимо обратиться к преподавателю.
практические занятия	Для подготовки к практическим занятиям студенту рекомендуется предварительно прорабатывать как лекционный материал, так и материал предыдущих практических занятий. Основой для подготовки служит добросовестное выполнение домашнего задания. Для успешного решения задач первой части курса студентам рекомендуется вспомнить материал, освоенный в предыдущих семестрах в рамках базовых математических дисциплин.
самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов состоит из двух основных частей - проработка лекционного материала и выполнения домашних заданий. Для освоения теоретического и практического материала, в случае, когда конспектов оказывается недостаточным, или для более детальной проработки отдельных тем рекомендуется использовать литературу, указанную в соответствующем разделе. Все возникающие вопросы рекомендуется заранее четко сформулировать и впоследствии обсудить с преподавателем.
экзамен	Подготовку к экзамену рекомендуется разделить на два этапа. На первом этапе прорабатываются все экзаменационные вопросы и формулируются вопросы к преподавателю в рамках консультации по разделам, недостаточно подробно описанным в рамках лекционного курса или более трудным в освоении материала. После консультации происходит окончательная проработка и закрепление материала по всем экзаменационным вопросам.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 01.04.03 "Механика и математическое моделирование" и магистерской программе "Аэрогидромеханика и механика нефтегазового пласта".

*Приложение 2
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.03 Теория многофазной фильтрации*

Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Аэрогидромеханика и механика нефтегазового пласта

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Основная литература:

1. Нигматулин Р.И., Механика сплошной среды. Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика [Электронный ресурс] / Нигматулин Р. И. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. - 640 с. - ISBN 978-5-9704-2898-6 - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970428986.html>
2. Практические занятия по механике сплошной среды: учебно-методическое пособие / К.А. Поташев. - Казань: Казанский университет, 2010. - 44 с.
3. Марон, В.И. Гидравлика двухфазных потоков в трубопроводах: учебное пособие / В.И. Марон. - Санкт-Петербург: Лань, 2012. - 256 с. - ISBN 978-5-8114-1235-8.- Текст: электронный// Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/3189>
4. Высоцкий, Л.И. Математическое и физическое моделирование потенциальных течений жидкости: учебное пособие / Л.И. Высоцкий, Г.Р. Коперник, И.С. Высоцкий. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург: Лань, 2014. - 64 с. - ISBN 978-5-8114-1554-0.- Текст: электронный// Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/44842>

Дополнительная литература:

1. Новиков, И.И. Термодинамика: учебное пособие / И.И. Новиков. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург: Лань, 2009. - 592 с. - ISBN 978-5-8114-0987-7.- Текст: электронный// Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/286>
2. Кадет В. В. Перколяционный анализ гидродинамических и электрокинетических процессов в пористых средах: Монография / В.В. Кадет. - М.: НИЦ Инфра-М, 2013. - 256 с. - (Научная мысль; Гидродинамика). ISBN 978-5-16-005613-5 - URL: <http://znanium.com/catalog/product/346195>

Приложение 3
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.03 Теория многофазной фильтрации

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая
перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Аэрогидромеханика и механика нефтегазового пласта

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.