

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ

Исполнительный директор
программы развития,
руководитель научно-
исследовательской политики

Г.Н. Суворов

«25» _____ 2026 г.

**НЕИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ МЕХАНИКА
МНОГОФАЗНЫХ СРЕД**

Рабочая программа для обучающихся
по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы
(производственная аспирантура)
форма обучения (очная)

Шевелёв А.П., Лукошкина Т.А. Неизотермическая многокомпонентная механика многофазных сред. Рабочая программа для обучающихся по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы (производственная аспирантура), форма обучения (очная). Тюмень, 2026.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГТ к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, утверждены приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г., № 951.

Рабочая программа дисциплины Неизотермическая многокомпонентная механика многофазных сред опубликована на сайте ТюмГУ: [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины — ознакомить аспирантов с основными проблемами современной механики многофазных многокомпонентных сред в неизотермических условиях и подготовить аспирантов к изучению спецкурсов по термическим методам увеличения нефтеотдачи, расчету научно-исследовательских проектов и выполнению индивидуального спецпрактикума в области фильтрации с фазовыми переходами и теплообменом.

Задачи учебного курса:

— овладение аспирантами аналитических методов решения задач многофазной фильтрации (Баклея-Леверетта, Рапопорта-Лиса, Маскета-Миреса) при различных граничных и начальных условиях;

— познакомить аспирантов с основными положениями теории неизотермической фильтрации, рассмотреть особенности процессов переноса массы, импульса и энергии в пористой среде с учетом фазовых равновесий;

— углубленно изучить представления о физико-химическом подобии процессов многокомпонентной фильтрации и их математическом моделировании;

— вспомнить и изучить новые методы расчета массообмена при фазовых переходах (испарение, конденсация, ретроградные явления) в многокомпонентных системах;

— ознакомление аспирантов с современными подходами к моделированию термических методов воздействия на пласт (SAGD, пароциклическое воздействие, внутрипластовое горение).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

— основные уравнения неизотермической многофазной многокомпонентной фильтрации (сохранения массы, импульса, энергии);

— физические основы массопереноса в пористой среде с учетом капиллярных сил и фазовых переходов;

— модель Маскета-Миреса для двухфазной фильтрации сжимаемых флюидов и метод последовательной смены стационарных состояний (ПССС);

— решение важнейших задач: Баклея-Леверетта (поршневое и непоршневое вытеснение), Рапопорта-Лиса (учет капиллярного давления);

— методы PVT-моделирования и уравнения состояния реальных газов (Пенга-Робинсона, Редлиха-Квонга-Соаве);

— основные классы задач при неизотермической фильтрации (тепловые фронты, нагнетание теплоносителей).

Уметь:

— применять аналитические и численные методы при решении задач многофазной фильтрации;

— получать расчетные формулы для распределения насыщенности, давления и температуры при движении многофазных флюидов в пористой среде;

— применять методы решения задач с фазовыми переходами и теплопереносом (расчет фронта вытеснения, температурного фронта);

— использовать правило касательной для определения фронта водонасыщенности в задаче Баклея-Леверетта.

Владеть:

— методиками решения задач механики многофазных многокомпонентных сред;

— навыками построения фазовых диаграмм и анализа ретроградных явлений;

— методами теории функций комплексного переменного (применительно к задачам фильтрации);

— подходами к моделированию термических методов увеличения нефтеотдачи (SAGD, пароциклическое воздействие, внутрипластовое горение).

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной

дисциплины

В результате освоения ОП выпускник должен обладать следующими компетенциями:

- способностью владеть современными подходами к анализу турбулентности, многофазных течений, ударных волн и неустойчивостей потока (ПК-4).
- способностью прогнозировать поведение текучих сред под действием внешних воздействий,
- включая климатические и космические условия (ПК-5).
- способностью адаптировать научные знания к практическим инженерным решениям и промышленным инновациям (ПК-6).

3. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы	Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
		4
Общий объем зач. ед. час	3	3
	108	108
Из них:		
Часы аудиторной работы (всего):	22	22
Лекции	12	12
Практические занятия	10	10
Лабораторные / практические занятия по подгруппам	0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося	50	50
Вид промежуточной аттестации (диф. зачет, кандидатский экзамен, экзамен)	36	Дифференцированный зачет 36

4. Система оценивания

Форма промежуточной аттестации – дифференцированный зачет, который сдаётся по окончании освоения дисциплины. Дифференцированный зачет проводится в устно-письменной форме. Дифференцированный зачет включает письменную часть – ответ по билету, состоящему из трёх вопросов. Устная часть зачёта оценивает полученные знания по дисциплине путем собеседования с преподавателем. При ответе на три вопроса билета ставится оценка "отлично", на два вопроса - "хорошо", на один вопрос - "удовлетворительно" (все оценки приравниваются к оценке "зачтено"), в ином случае - "не зачтено". За устное собеседование выставляется отдельная оценка. Итоговая оценка за зачет выставляется как среднеарифметическая двух оценок (за письменную и устную части).

Для допуска к дифференцированному зачёту обязательно выполнить и сдать реферат, подготавливаемый на практических занятиях по курсу. Темы рефератов формируются в зависимости от тем научного исследования аспирантов. Тема реферата может являться главой диссертации (расчет основных параметров, создание методики теплофизического расчета и др.). Объем реферата – 30-50 страниц. Реферат сдается на проверку преподавателю не позднее чем за 1 неделю до окончания курса, после проверки защищается на практическом занятии. Если защита проходит успешно (аспирант выполнил реферат, сделал доклад и разбирается в теме исследования), то аспирант допускается к дифференцированному зачёту, в противном случае ставится оценка «не зачтено».

5. Содержание дисциплины

5.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины (модуля), час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
	Часов в 4 семестре	58	12	10	0	36
	Неизотермическая многокомпонентная механика многофазных сред	58	12	10	0	36
1	Введение в многокомпонентную фильтрацию. Основные уравнения многофазной фильтрации. Модели "черной нефти" и композиционная. Задача Баклея- Леверетта. Функция Баклея-Леверетта. Правило касательной.	2	2	0	0	0
2	Решение задачи Баклея-Леверетта. Расчет распределения водонасыщенности и положения фронта вытеснения.	2	0	2	0	0
3	Задача Рапопорта-Лиса. Учет капиллярных сил. Капиллярная пропитка.	2	2	0	0	0
4	Решение задачи Рапопорта-Лиса. Расчет профиля насыщенности с учетом капиллярного давления.	2	0	2	0	0
5	Модель Маскета- Миреса. Двухфазная фильтрация сжимаемых флюидов. Метод последовательной смены стационарных состояний (ПССС).	2	2	0	0	0
6	Расчет по модели Маскета-Миреса.	2	0	2	0	0

	Распределение давления и газонасыщенности.					
7	Многокомпонентная фильтрация. Уравнения состояния (Пенга-Робинсона, Редлиха-Квонга-Соаве). Фазовые равновесия.	2	2	0	0	0
8	PVT-моделирование. Расчет свойств пластового флюида. Построение фазовых диаграмм. Ретроградные явления.	2	0	2	0	0
9	Неизотермическая фильтрация. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Теплоперенос в пористой среде.	2	2	0	0	0
10	Моделирование неизотермического вытеснения. Расчет температурного фронта при нагнетании теплоносителя (пар, горячая вода).	2	0	2	0	0
11	Термические МУН (SAGD, пароциклическое воздействие). Внутрипластовое горение. Вытеснение растворителями и ПАВ.	2	2	0	0	0
12	Дифференцированный зачет	36	0	0	0	36
	Итого (часов)	58	12	10	0	36

5.2. Содержание дисциплины по темам

1. Основные понятия и уравнения механики многофазных многокомпонентных сред. Законы сохранения массы, импульса и энергии при фильтрации.

Закон сохранения массы для каждой фазы. Уравнение неразрывности для многофазного потока в переменных Эйлера. Учет источников и стоков (скважины). Фазовые переходы как источники массы. Многокомпонентные смеси в пористой среде. Диффузионные потоки компонентов. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей. Массовые и поверхностные силы, действующие на фазу в пористой среде. Силы межфазного взаимодействия. Закон Дарси для многофазной фильтрации. Относительные фазовые проницаемости. Капиллярное давление как функция насыщенности. Законы сохранения количества движения для каждой фазы (обобщенный закон Дарси). Дифференциальные уравнения движения фаз в пористой среде. Работа сил межфазного трения. Кинетическая энергия фильтрующихся фаз. Уравнение живых сил для многофазной системы. Понятие о параметрах состояния пластовой системы (давление, температура, насыщенность, состав). Пространство состояний, процессы и циклы при разработке месторождений. Закон сохранения энергии для

многофазной многокомпонентной системы в пористой среде. Внутренняя энергия фаз и скелета породы. Уравнение притока тепла (уравнение энергии). Закон теплопроводности Фурье для пористой среды. Локальное тепловое равновесие. Различные частные процессы: адиабатический (быстрое расширение газа), изотермический (медленная фильтрация), политропический. Обратимые и необратимые процессы при фильтрации (гистерезис фазовых проницаемостей, необратимость теплопереноса). Второе начало термодинамики для открытых систем. Энтропия и абсолютная температура. Уравнения состояния пластовых флюидов. Модели жидких и газообразных сред в пористой среде. Модель идеальной жидкости для нефти и газа. Уравнения Эйлера применительно к фильтрации. Полные системы уравнений для многофазной фильтрации несжимаемых и сжимаемых флюидов. Начальные и граничные условия (заданное давление, заданный расход, непроницаемая граница). Явление кавитации в пластовых условиях (выделение газа при снижении давления ниже давления насыщения). Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях при фильтрации. Возникновение вихрей в пористой среде. Модель вязкой жидкости (ньютоновская жидкость) для пластовых флюидов. Неньютоновские свойства тяжелых нефтей.

2. Поверхности разрыва в фильтрационных течениях многофазных многокомпонентных сред.

Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы применительно к пористой среде. Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности (фронт вытеснения, фронт закачки теплоносителя). Условия на поверхностях сильного разрыва в пористых средах. Тангенциальные разрывы и ударные волны в фильтрационных потоках (фронт газонасыщенности, фронт температурный). Гидростатика многофазных систем в пористой среде. Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил (гравитация). Закон Архимеда для пористой среды. Равновесие и устойчивость газовой шапки и водонефтяного контакта. Капиллярно-гравитационное равновесие.

3. Движение сжимаемой жидкости в пористой среде. Многофазная фильтрация.

Движение идеальной несжимаемой жидкости в пористой среде (модель Баклея-Леверетта). Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости при фильтрации. Свойства гармонических функций. Многозначность потенциала в многосвязных областях (система скважин). Кинематическая задача о движении твердого тела в неограниченном объеме идеальной несжимаемой жидкости применительно к движению частиц породы. Энергия, количество движения и момент количества движения жидкости при фильтрации. Силы воздействия идеальной жидкости на пористую среду. Парадокс Даламбера в фильтрации (отсутствие лобового сопротивления в идеальной жидкости). Плоские движения идеальной жидкости в пористой среде. Функция тока. Применение методов теории аналитических функций комплексного переменного для решения плоских задач фильтрации (интерференция скважин, метод источников и стоков). Стационарное обтекание жидкостью цилиндра и профиля (фильтрация вокруг галереи, скважины). Плоские задачи о струйных течениях жидкости в пористой среде. Определение поля скоростей по заданным вихрям и источникам. Формулы Био-Савара для фильтрации. Движение вязкой жидкости в пористой среде. Теория пограничного слоя в прискважинной зоне. Турбулентность в пористой среде (отклонение от закона Дарси при высоких скоростях). Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости в пористой среде (закон Дарси). Течение вязкой жидкости в пористой среде с переменной проницаемостью. Диффузия вихря. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса применительно к суспензиям. Ламинарный пограничный слой в пористой среде. Явление отрыва пограничного слоя (образование застойных зон). Устойчивость пограничного слоя в пористой среде. Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя применительно к прискважинной зоне. Движение сжимаемой жидкости в пористой среде (газа, газоконденсата). Газовая динамика при фильтрации. Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости в пористой среде. Скорость звука в пористой среде. Эффект Допплера. Уравнения газовой динамики для пористой среды. Характеристики. Влияние сжимаемости на распределение давления и насыщенности при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лавала применительно к трещиноватым коллекторам. Одномерные неустановившиеся движения газов в пористой среде с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами. Распространение

импульса давления в пласте (гидроразрыв пласта, импульсное воздействие). Уравнения движения газа в пористой среде в напряжениях (учет сжимаемости породы). Автомодельные движения газа при фильтрации.

4. Многокомпонентная фильтрация с фазовыми переходами. Уравнения состояния и фазовые равновесия.

Постановка задачи многокомпонентной фильтрации. Композиционная модель. Уравнения сохранения массы для каждого компонента в каждой фазе. Константы фазового равновесия (К-факторы). Уравнения состояния реальных газов: Пенга-Робинсона, Редлиха-Квонга-Соаве. Правила смешения для многокомпонентных систем. Расчет фазового равновесия пар-жидкость. Алгоритм флеш-расчета (flash calculation). Критические точки и ретроградная конденсация. Построение фазовых диаграмм. Закон Рауля и закон Генри как предельные случаи. Фазовые переходы в многокомпонентных системах: испарение, конденсация, выделение газа.

5. Неизотермическая многокомпонентная многофазная фильтрация. Тепловые методы увеличения нефтеотдачи.

Уравнения сохранения массы, импульса и энергии для неизотермической фильтрации. Теплоперенос в пористой среде: теплопроводность скелета и флюидов, конвективный перенос тепла. Локальное тепловое равновесие между фазами и скелетом. Граничные условия тепловые. Температурный фронт при нагнетании теплоносителя. Расчет распределения температуры при закачке пара, горячей воды, теплоносителей-неконденсатов. Тепловые потери в кровлю и подошву пласта. Термические методы увеличения нефтеотдачи: технология SAGD (гравитационный дренаж с закачкой пара), пароциклическое воздействие (CSS), внутрискелетное горение. Механизмы вытеснения растворителями и поверхностно-активными веществами (ПАВ). Снижение межфазного натяжения, изменение смачиваемости, образование микроэмульсий.

6. Методы решения задач неизотермической многокомпонентной многофазной фильтрации.

Метод Баклея-Левверетта для двухфазного вытеснения без учета капиллярных сил. Функция Баклея-Левверетта. Правило касательной для определения фронтальной насыщенности. Метод Рапопорта-Лиса для учета капиллярного давления. Влияние капиллярных сил на профиль насыщенности. Метод Маскета-Миреса для двухфазной фильтрации сжимаемых флюидов. Метод последовательной смены стационарных состояний (ПССС). Аналитические методы решения одномерных задач неизотермической фильтрации (метод Ловерни, метод Лауверье). Численные методы: метод конечных разностей (явные и неявные схемы, попеременно-треугольный метод), метод конечных объемов. Сетки и аппроксимация. Устойчивость и сходимость численных схем. Применение промышленных симуляторов (Eclipse, tNavigator, CMG и др.) для решения задач неизотермической многокомпонентной многофазной фильтрации.

6. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1.	Введение в многокомпонентную фильтрацию. Основные уравнения многофазной фильтрации. Модели «черной нефти» и композиционная. Задача Баклея-Левверетта. Функция Баклея-Левверетта. Правило касательной.	Формы СРС: изучение лекционного материала, работа с основной и дополнительной литературой, подготовка к собеседованию. Требования: аспирант должен знать вывод уравнений неразрывности для многофазной системы, понимать различия между моделью «черной нефти» и композиционной моделью, уметь формулировать задачу Баклея-Левверетта. Контроль: устный опрос на лекции, проверка конспектов.

2.	Решение задачи Баклея-Лeverетта. Расчет распределения водонасыщенности и положения фронта вытеснения.	Формы СРС: подготовка к практическому занятию, выполнение домашнего расчетного задания, работа с методическими указаниями. Требования: аспирант должен освоить алгоритм построения функции Баклея-Лeverетта, научиться графически определять фронтальную насыщенность методом касательной, выполнить расчет времени прорыва воды. Контроль: проверка выполненного домашнего задания, защита расчета.
3.	Задача Рапопорта-Лиса. Учет капиллярных сил. Капиллярная пропитка.	Формы СРС: изучение лекционного материала, анализ капиллярных эффектов в пористых средах, подготовка реферата по теме «Капиллярная пропитка в трещиновато-пористых коллекторах». Требования: аспирант должен понимать отличие задачи Рапопорта-Лиса от задачи Баклея-Лeverетта, знать физический механизм капиллярной пропитки. Контроль: устный опрос, проверка реферата.
4.	Решение задачи Рапопорта-Лиса. Расчет профиля насыщенности с учетом капиллярного давления.	Формы СРС: подготовка к практическому занятию, выполнение расчетного задания, освоение численных методов решения уравнений фильтрации с капиллярным членом. Требования: аспирант должен уметь задавать функцию капиллярного давления, выполнять сравнение профилей насыщенности с учетом и без учета капиллярных сил. Контроль: проверка расчетного задания, анализ полученных результатов.
5.	Модель Маскета-Миреса. Двухфазная фильтрация сжимаемых флюидов. Метод последовательной смены стационарных состояний (ПССС).	Формы СРС: изучение лекционного материала, работа с литературой по фильтрации газа и нефти, составление конспекта-схемы метода ПССС. Требования: аспирант должен знать допущения модели Маскета-Миреса, понимать принцип метода последовательной смены стационарных состояний. Контроль: устный опрос, проверка конспекта-схемы.
6.	Расчет по модели Маскета-Миреса. Распределение давления и газонасыщенности.	Формы СРС: подготовка к практическому занятию, выполнение расчетного задания, освоение алгоритма решения уравнения для давления и газонасыщенности. Требования: аспирант должен уметь рассчитывать распределение давления и газонасыщенности вдоль пласта для различных моментов времени, строить профили и анализировать результаты. Контроль: проверка расчетного задания, защита выполненной работы.
7.	Многокомпонентная фильтрация. Уравнения состояния (Пенга-Робинсона, Редлиха-Квонга-Соаве). Фазовые равновесия.	Формы СРС: изучение лекционного материала, работа с научной литературой по уравнениям состояния, подготовка к коллоквиуму по теме «Многокомпонентные системы в нефтегазовой механике». Требования: аспирант должен знать уравнения состояния Пенга-Робинсона и Редлиха-Квонга-Соаве, понимать методы расчета фазовых равновесий. Контроль: коллоквиум, устный опрос.

8.	PVT-моделирование. Расчет свойств пластового флюида. Построение фазовых диаграмм. Ретроградные явления.	Формы СРС: подготовка к практическому занятию, выполнение задания по PVT-моделированию с использованием специализированного ПО (PVTsim, WinProp или аналогов), построение фазовых диаграмм. Требования: аспирант должен уметь рассчитывать свойства пластового флюида по заданному компонентному составу, строить фазовые диаграммы, идентифицировать ретроградные явления. Контроль: защита выполненного PVT-расчета, проверка построенных диаграмм.
9.	Неизотермическая фильтрация. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Теплоперенос в пористой среде.	Формы СРС: изучение лекционного материала, работа с литературой по тепломассопереносу, подготовка к письменному опросу. Требования: аспирант должен знать полную систему уравнений неизотермической фильтрации, понимать механизмы теплопереноса в пористой среде, знать гипотезу локального теплового равновесия. Контроль: письменный опрос, проверка конспектов.
10.	Моделирование неизотермического вытеснения. Расчет температурного фронта при нагнетании теплоносителя (пар, горячая вода).	Формы СРС: подготовка к практическому занятию, выполнение расчетного задания по определению положения температурного фронта, оценка тепловых потерь. Требования: аспирант должен уметь рассчитывать продвижение температурного фронта, сравнивать эффективность вытеснения паром и горячей водой. Контроль: проверка расчетного задания, анализ результатов.
11.	Термические МУН (SAGD, пароциклическое воздействие). Внутрипластовое горение. Вытеснение растворителями и ПАВ.	Формы СРС: изучение лекционного материала, подготовка научного доклада (презентации) по одному из термических методов увеличения нефтеотдачи, работа с научными статьями (OnePetro, eLibrary). Требования: аспирант должен знать технологию SAGD и CSS, понимать механизм внутрипластового горения, уметь объяснять принципы вытеснения растворителями и ПАВ. Контроль: защита доклада (презентации) на практическом занятии, обсуждение в формате семинара.
12.	Дифференцированный зачет	Формы СРС: самостоятельная подготовка к дифференцированному зачету, повторение лекционного материала, решение типовых задач, изучение вопросов к зачету. Требования: аспирант должен продемонстрировать знание основных моделей (Баклея-Левверетта, Рапопорта-Лиса, Маскета-Миреса), умение выполнять расчеты и проводить анализ результатов. Контроль: письменный ответ на вопросы билета или защита комплексного расчетного задания.

7. Промежуточная аттестация по дисциплине

7.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Форма промежуточной аттестации – дифференцированный зачёт, который сдаётся по окончании освоения дисциплины. Дифференцированный зачёт проводится в устно-письменной форме. Дифференцированный зачёт включает письменную часть – ответ по билету, состоящему из трёх вопросов, формируемых из перечня 40 вопросов. Устная часть зачёта оценивает полученные знания по дисциплине путем собеседования с преподавателем. При ответе на три вопроса билета ставится оценка "отлично", на два вопроса - "хорошо", на один вопрос - "удовлетворительно". За устное собеседование выставляется отдельная оценка. Итоговая оценка за зачёт выставляется как среднеарифметическая двух оценок (за письменную и устную части).

Для допуска к дифференцированному зачёту обязательно выполнить и сдать реферат, подготавливаемый на практических занятиях по курсу. Темы рефератов формируются в зависимости от тем научного исследования аспирантов. Тема реферата может являться главой диссертации (расчет основных параметров, создание методики теплофизического расчета и др.). Объем реферата – 30-50 страниц. Реферат сдаётся на проверку преподавателю не позднее чем за 1 неделю до окончания курса, после проверки защищается на практическом занятии. Если защита проходит успешно (аспирант выполнил реферат, сделал доклад и разбирается в теме исследования), то аспирант допускается к дифференцированному зачёту, в противном случае ставится оценка «не зачтено».

Темы рефератов не ограничиваются, они соответствуют предполагаемым темам диссертации на соискание учёной степени кандидата наук. Если защита реферата проходит успешно (аспирант выполнил реферат, сделал доклад и разбирается в теме исследования), то аспирант допускается к зачёту, в противном случае ставится оценка «не зачтено».

Реферат оформляется шрифтом 14 Times New Roman с полуторным интервалом, абзацный отступ 1,25 см, интервал полуторный.

Пример оформления реферата

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра моделирования физических процессов и систем

Реферат
по теме: «Тема диссертации»

Аспирант 3 курса
по научной специальности

Фамилия И.О.
1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы

Проверил:

Фамилия И.О.
кандидат физико-математических наук

Тюмень год

ВВЕДЕНИЕ

Описывается актуальность задачи.

ГЛАВА 1. НАЗВАНИЕ ГЛАВЫ

Текст главы, рисунки, таблицы.

ГЛАВА 2. НАЗВАНИЕ ГЛАВЫ

Текст главы, рисунки, таблицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Вопросы к дифференцированному зачету

1. Основные допущения и система уравнений модели Баклея-Левретта для двухфазного вытеснения.
2. Функция Баклея-Левретта: физический смысл, свойства, графический вид.
3. Правило касательной (метод Велджа): для чего применяется, как графически определяется фронтальная насыщенность.
4. Сравнение моделей Баклея-Левретта и Рапопорта-Лиса. В чем заключается учет капиллярных сил?
5. Капиллярное давление как функция насыщенности. Влияние капиллярных сил на профиль вытеснения.
6. Капиллярная пропитка: механизм, движущие силы, условия возникновения.
7. Модель Маскета-Миреса: допущения, область применения (какие флюиды описывает).
8. Метод последовательной смены стационарных состояний (ПССС): идея, алгоритм, шаг по времени.
9. Модель «черной нефти» (Black Oil): допущения, система уравнений, область применения.
10. Композиционная модель (Compositional): отличие от модели «черной нефти», когда необходима.
11. Уравнения состояния реальных газов: общая структура кубических уравнений. Назначение уравнений Пенга-Робинсона и Редлиха-Квонга-Соаве.
12. Фазовые равновесия в многокомпонентных системах. Константы фазового равновесия (К-факторы).
13. Ретроградная конденсация: физический механизм, при каких условиях возникает, последствия для разработки.
14. Система уравнений неізотермической фильтрации: уравнения сохранения массы, импульса и энергии.
15. Уравнение энергии для пористой среды. Из каких слагаемых состоит? Что такое локальное тепловое равновесие?
16. Закон теплопроводности Фурье применительно к пористой среде.
17. Температурный фронт при нагнетании теплоносителя. Факторы, влияющие на скорость его продвижения.
18. Термические методы увеличения нефтеотдачи: классификация, принципы действия.
19. Алгоритм решения задачи Баклея-Левретта: от постановки до расчета положения фронта вытеснения.
20. Как рассчитать время безводной добычи нефти по модели Баклея-Левретта?
21. Сравнение профилей водонасыщенности с учетом и без учета капиллярных сил (качественное и количественное различие).
22. Как оценить длину переходной зоны (капиллярной каймы) при вытеснении?
23. Алгоритм решения по модели Маскета-Миреса: последовательность расчета давления и газонасыщенности.

24. Как изменяется распределение газонасыщенности во времени при закачке газа в нефтенасыщенный пласт?
25. Флеш-расчет (flash calculation): для чего нужен, какие входные данные требуются, какие результаты дает.
26. Построение фазовой диаграммы многокомпонентной системы. Как определить точку росы и точку кипения?
27. Как отличить ретроградную газоконденсатную систему от обычной газовой или нефтяной по фазовой диаграмме?
28. Расчет температурного фронта при нагнетании горячей воды: основные формулы, допущения, факторы.
29. Сравнение эффективности вытеснения паром и горячей водой. При каких условиях пар эффективнее?
30. Оценка тепловых потерь в кровлю и подошву пласта при закачке теплоносителя.
31. Причины и условия возникновения ретроградной конденсации в газоконденсатных пластах. Методы борьбы.
32. Преимущества и недостатки пароциклического воздействия (CSS) по сравнению с SAGD.
33. Технология SAGD: схема расположения скважин, физический механизм, основные параметры.
34. Внутрипластовое горение: окисление тяжелых фракций, типы фронтов горения, условия устойчивости.
35. Механизмы увеличения нефтеотдачи при закачке растворителей (мицеллярные растворы, ПАВ).
36. Сравнение эффективности различных теплоносителей (пар, горячая вода, горячий газ) для неизотермического вытеснения.
37. Влияние сжимаемости флюидов на характер вытеснения (модель Маскета-Миреса против модели Баклея-Левверетта для несжимаемых фаз).
38. Гидродинамическое и капиллярное подобие процессов фильтрации. Критерии подобия.
39. Применение методов теории функций комплексного переменного в задачах фильтрации (интерференция скважин, метод источников и стоков).
40. Роль PVT-моделирования при проектировании разработки газоконденсатных и летуче-нефтяных месторождений.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

8.1. Основная литература:

1. Подземная гидромеханика / К. С. Басниев, Н. М. Дмитриев, Р. Д. Каневская, В. М. Максимов. — 2-е изд. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2019. — 488 с. — ISBN 978-5-4344-0605-5. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/91980.html> (дата обращения: 21.05.2026). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей
2. Терехов, В. И. Тепломассоперенос и гидродинамика в газокapельных потоках / Терехов В.И., Пахомов М.А. - Новосибирск :НГТУ, 2009. - 284 с.: ISBN 978-5-7782-1157-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/556665> (дата обращения: 21.05.2026). – Режим доступа: по подписке.
3. Федоров, Константин Михайлович. Фильтрационные течения с физико-химическими превращениями в задачах нефтегазовой механики: учебное пособие / К. М. Федоров, Н. Г. Мусакаев, Татьяна Анатольевна Кремлева. — Тюмень: Изд-во Тюм. гос. ун-та, 2017. — 2-Лицензионный договор № 572/2017-12-01. — Доступ по паролю из сети Интернет (чтение). <URL:https://library.utmn.ru/dl/PPS/Fedorov_Musakaev_Kremleva_572_UP_2017.pdf>. (дата обращения: 21.05.2026).

8.2. Интернет-ресурсы:

1. Электронная международная библиотека статей на нефтегазовую тематику OnePetro <https://www.onepetro.org/>. (дата обращения: 21.05.2026)
2. Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического

факультета Московского государственного университета <http://lib.mexmat.ru> (дата обращения: 01.06.2026)

3. eLIBRARY – Научная электронная библиотека (Москва) <http://elibrary.ru/> (дата обращения: 21.05.2026)

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

LibreOffice, платформы: Яндекс. Мессенджер, Яндекс.Телемост, Lazarus, Pascal ABC.NET.

10. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

– Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная.

– Мультимедийная учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, персональный компьютер.

11. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям лиц с ограниченными возможностями

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

12. Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы

Начинать надо с изучения рекомендованной литературы. Особое внимание при этом необходимо обратить на содержание основных положений и выводов, объяснение явлений и фактов, уяснение практического приложения рассматриваемых теоретических вопросов. В процессе этой работы аспирант должен стремиться понять и запомнить основные положения рассматриваемого материала, примеры, поясняющие его, а также разобраться в иллюстративном материале. Заканчивать подготовку следует составлением плана (конспекта) по изучаемому материалу (вопросу). Это позволяет составить концентрированное, сжатое представление по изучаемым вопросам. При необходимости следует обращаться за консультацией к преподавателю. Перед консультацией необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения. Ведение записей способствует превращению чтения в активный процесс, мобилизует, наряду со зрительной, и моторную память. Следует помнить: у аспиранта, систематически ведущего записи, создается свой индивидуальный фонд подсобных материалов для быстрого повторения прочитанного, для мобилизации накопленных знаний. Особенно важны и полезны записи тогда, когда в них находят отражение мысли, возникшие при самостоятельной работе.