

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

« 15 » _____ 2026 г.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ГИДРОМЕХАНИКА

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. Физико-химическая гидромеханика. 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 Физико-химическая гидромеханика опубликована на сайте ТюмГУ: [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины — сформировать у аспирантов систему теоретических и прикладных знаний в области физико-химической гидромеханики многофазных многокомпонентных систем, необходимых для понимания процессов фильтрации реагентов (полимеров, суспензий, гелеобразующих составов) в пористых средах и трещинах гидроразрыва, а также для обоснованного выбора и моделирования методов увеличения нефтеотдачи (МУН) с учётом физико-химических взаимодействий на границе «флюид – порода».

Задачи учебного курса:

- овладеть основными понятиями механики гетерогенных систем (фаза, компонент, законы сохранения массы, импульса, энергии и количества компонентов) применительно к фильтрации физико-химических реагентов;
- изучить механизмы адсорбции (физической и химической) и удерживания полимеров в пористой среде, освоить аналитические методы расчёта параметров адсорбции по изотермам Генри, Ленгмюра и их модификациям;
- освоить метод характеристик для решения прямой и обратной задач адсорбции-удерживания полимера, а также метод трассеров для определения недоступного объёма пор;
- изучить модели фильтрации суспензий и реагентов в пористой среде (коэффициент фильтрации, коэффициент повреждения породы, модель глубокого проникновения) с применением модифицированного закона Дарси;
- ознакомиться с технологиями выравнивания профиля приёмистости (ВПП) и потокоотклоняющими технологиями, научиться рассчитывать приёмистость нагнетательных скважин и оценивать эффективность применяемых реагентов в слоисто-неоднородных и латерально-неоднородных пластах;
- изучить механизм образования гелей, факторы, влияющие на время гелеобразования, и освоить расчёт фильтрации дисперсных частиц в трещинах автогидроразрыва пласта (автоГРП) с оценкой эффективности гелеобразующих составов.

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- видов физико-химических МУН
- основных физических принципов МУН
- основной системы уравнений механики гетерогенных систем

Уметь:

- выбирать необходимый физико-химический МУН под данный объект разработки
- моделировать физико-химические МУН

Владеть (иметь навыки):

- расчёта фильтрации физико-химических реагентов по трещинам автогидроразрыва
- определения параметров адсорбции полимера

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)	Часов в семестре (академические часы)
--------------------	--------------------------------	--

	часы)	4
Общий объем	зач. ед.	3
	час	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 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. 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 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
	Подземная гидромеханика	58	12	10	0	36
1	Основы механики многофазных систем. Понятия фазы,	2	2	0	0	0

	компонента. Гетерогенные и гомогенные системы. Законы сохранения.					
2	Адсорбция полимера в пористой среде. Механизмы адсорбции (физическая и химическая).	2	2	0	0	0
3	Практическое занятие 1. Расчет параметров адсорбции. Определение механизмов адсорбции полимера в пористой среде.	2	0	2	0	0
4	Изотермы адсорбции Генри и Ленгмюра. Модифицированные изотермы Ленгмюра. Удерживание полимера в пористой среде. Механическое и гидродинамическое удерживание. Срыв частиц полимера.	2	2	0	0	0
5	Практическое занятие 2. Совместность протекания процессов адсорбции- удерживания. Расчет концентрации удержанных частиц.	2	0	2	0	0
6	Фильтрация реагента (суспензий) в пористой среде. Виды суспензий. Эмпирические коэффициенты фильтрации.	2	2	0	0	0
7	Практическое занятие 3. Модель глубокого проникновения суспензии в пористую среду. Расчет коэффициента фильтрации и повреждения породы.	2	0	2	0	0

8	Технологии выравнивания профиля приёмистости (ВПП). Потокоотклоняющие технологии. Применяемые реагенты.	2	2	0	0	0
9	Практическое занятие 4. Расчет приёмистости нагнетательной скважины. Оценка эффективности потокоотклоняющих технологий.	2	0	2	0	0
10	Механизм образования гелей. Время гелеобразования. Блокирование трещин автогидроразрыва пласта (автоГРП).	2	2	0	0	0
11	Практическое занятие 5. Расчет фильтрации дисперсных частиц в трещине автоГРП. Оценка эффективности гелеобразующих составов.	2	0	2	0	0
12	Дифференцированный и зачет	36	0	0	0	36
	Итого (часов)	58	12	10	0	36

5.2. Содержание дисциплины по темам

Тема 1. Основы механики многофазных систем и законы сохранения.

Основы механики многофазных систем. Понятия фазы, компонента, агрегатного состояния. Гетерогенные и гомогенные системы. Субстанциональная производная. Законы сохранения массы, импульса и энергии. Закон сохранения количества компонентов.

Тема 2. Адсорбция полимера в пористой среде.

Адсорбция полимера в пористой среде. Механизмы адсорбции. Физическая и химическая адсорбция. Изотермы Генри и Ленгмюра. Удерживание полимера в пористой среде. Механическое удерживание. Гидродинамическое удерживание. Срыв частиц полимера. Концентрация удержанных частиц. Отличия адсорбции и удерживания. Совместность протекания процессов адсорбции-удерживания. Модифицированные изотермы Ленгмюра. Недоступный объём пор. Трассерный метод определения недоступного объёма пор. Передний и задний фронт вытеснения. Метод характеристик. Прямая и обратная задачи адсорбции-удерживания полимера в пористой среде.

Тема 3. Фильтрация реагента в пористой среде.

Реагенты. Суспензии. Виды суспензий. Термополимеры. Осадкообразующие соединения. Фильтрация реагента в пористой среде. Эмпирические коэффициенты при

фильтрации суспензии в пористой среде. Коэффициент фильтрации. Коэффициент повреждения породы. Модель глубокого проникновения суспензии в пористую среду. Законы сохранения массы и импульса. Модифицированный закон Дарси. Распределение концентрации удержанных частиц. Глубина проникновения суспензии в пористую среду.

Тема 4. Технологии выравнивания профиля приёмистости и потокоотклоняющие технологии.

Выравнивание профиля приёмистости. Нагнетательная скважина. Заводнение. Приёмистость. Слоисто-неоднородные пласты. Латеральная неоднородность пласта. Потокоотклоняющие технологии. Применяемые реагенты.

Тема 5. Образование гелей и блокирование трещин гидроразрыва.

Механизм образования гелей. Время гелеобразования. Трещины автогидроразрыва пласта (автоГРП). Фильтрация дисперсных частиц в трещине автоГРП.

6. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1.	Тема 1. Основы механики многофазных систем и законы сохранения	Формы СРС: подготовка к опросу, работа с литературой, составление конспекта. Требования: освоить понятия фазы, компонента, агрегатного состояния, различия гетерогенных и гомогенных систем, физический смысл субстанциональной производной, законы сохранения массы, импульса, энергии и количества компонентов. Контроль: устный опрос, проверка конспекта.
2.	Тема 2. Адсорбция полимера в пористой среде	Формы СРС: выполнение домашнего расчётного задания, работа с методическими указаниями. Требования: освоить механизмы физической и химической адсорбции, строить и интерпретировать изотермы Генри и Ленгмюра, освоить понятия механического и гидродинамического удерживания, выполнить расчёт концентрации удержанных частиц, изучить метод характеристик для прямой и обратной задач адсорбции-удерживания, освоить трассерный метод определения недоступного объёма пор. Контроль: проверка домашнего задания, защита расчёта, тестирование по изотермам.
3.	Тема 3. Фильтрация реагента в пористой среде	Формы СРС: выполнение домашнего расчётного задания, работа с методическими указаниями. Требования: освоить виды суспензий и реагентов (термополимеры, осадкообразующие соединения), научиться рассчитывать коэффициент фильтрации и коэффициент повреждения породы, освоить модель глубокого проникновения суспензии, выполнить расчёт распределения концентрации удержанных частиц и глубины проникновения, изучить модифицированный закон Дарси. Контроль: проверка домашнего задания, защита расчёта.
4.	Тема 4. Технологии выравнивания профиля приёмистости и потокоотклоняющие технологии	Формы СРС: выполнение домашнего расчётного задания, подготовка краткого реферата. Требования: освоить понятие приёмистости нагнетательной скважины при заводнении, изучить особенности слоисто-неоднородных и латерально-неоднородных пластов, освоить принципы ВПП и потокоотклоняющих технологий, выполнить расчёт приёмистости скважины и оценку эффективности потокоотклоняющих реагентов. Контроль: проверка домашнего задания, защита расчёта, устный опрос.

5.	Тема 5. Образование гелей и блокирование трещин гидроразрыва	Формы СРС: выполнение домашнего расчётного задания, работа с методическими указаниями. Требования: освоить механизм образования гелей и факторы, влияющие на время гелеобразования, изучить строение трещин автогидроразрыва пласта (автоГРП), выполнить расчёт фильтрации дисперсных частиц в трещине автоГРП, оценить эффективность гелеобразующих составов для блокирования трещин. Контроль: проверка домашнего задания, защита расчёта.
6.	Дифференцированный зачет	Подготовка к зачету по вопросам

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 32 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 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».

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 2 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 зачёту

1. Понятия фазы, компонента, агрегатного состояния в механике многофазных систем.
2. Гетерогенные и гомогенные системы: определения, различия, примеры.
3. Субстанциональная производная: определение, физический смысл, применение.
4. Законы сохранения массы, импульса, энергии и количества компонентов для многофазных систем.
5. Адсорбция полимера в пористой среде: определение, физическая сущность.
6. Физическая и химическая адсорбция: отличия, условия протекания.
7. Изотерма адсорбции Генри: уравнение, график, область применения.
8. Изотерма адсорбции Ленгмюра: вывод уравнения, график, основные допущения.
9. Модифицированные изотермы Ленгмюра: необходимость модификации, особенности применения для полимеров.
10. Удерживание полимера в пористой среде: определение, отличие от адсорбции.
11. Механическое и гидродинамическое удерживание полимера: причины, условия возникновения.
12. Срыв частиц полимера: причины, условия, последствия для фильтрации.
13. Концентрация удержанных частиц: определение, методы расчёта.
14. Совместность протекания процессов адсорбции и удерживания полимера.
15. Недоступный объём пор: определение, физический смысл, трассерный метод определения.
16. Передний и задний фронт вытеснения при фильтрации полимеров.
17. Метод характеристик для решения задач адсорбции-удерживания полимера.
18. Прямая и обратная задачи адсорбции-удерживания полимера в пористой среде.
19. Суспензии: определение, виды, свойства, фильтрация в пористой среде.
20. Коэффициент фильтрации и коэффициент повреждения породы: определение, физический смысл, методы расчёта.
21. Модель глубокого проникновения суспензии в пористую среду: основные допущения, уравнения.
22. Модифицированный закон Дарси для фильтрации суспензий и реагентов.

23. Распределение концентрации удержанных частиц и глубина проникновения суспензии.
24. Выравнивание профиля приёмистости (ВПП): назначение, физические принципы.
25. Приёмистость нагнетательной скважины при заводнении: определение, методы расчёта.
26. Слоисто-неоднородные и латерально-неоднородные пласты: влияние на выработку запасов.
27. Потокоотклоняющие технологии: назначение, физические принципы, применяемые реагенты.
28. Механизм образования гелей: стадии, факторы, влияющие на время гелеобразования.
29. Трещины автогидро разрыва пласта (автоГРП): условия возникновения, строение.
30. Фильтрация дисперсных частиц в трещине автоГРП: особенности, отличия от фильтрации в пористой среде.
31. Блокирование трещин автоГРП гелеобразующими составами: механизм, оценка эффективности.
32. Выбор физико-химического метода увеличения нефтеотдачи под конкретный объект разработки: критерии и обоснование.

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

8.1. Основная литература:

1. 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 : Издательство Тюменского государственного университета, 2017. — 108 с. — URL: https://library.utmn.ru/dl/PPS/Fedorov_Musakaev_Kremleva_572_UP_2017.pdf/view (дата обращения: 21.05.2026).
2. 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.

8.2. Интернет-ресурсы:

1. Springer / ФГБУ «Государственная публичная научно-техническая библиотека России». URL: <https://rd.springer.com/>
2. Электронно-библиотечная система «ЗНАНИУМ»/ ООО «ЗНАНИУМ». URL: <https://lib.utmn.ru/tpost/mlxo8l6vg1-znaniumcom>
3. Электронно-библиотечная система Лань / ООО ЭБС «ЛАНЬ». URL: <https://e.lanbook.com/>

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.