

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**СТЕНОГРАММА**

заседания диссертационного совета Д 002.110.03 на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Объединенного института высоких температур Российской академии наук  
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)  
от 27 декабря 2021 г. (протокол № 3)

Защита диссертации **Молчанова Дмитрия Анатольевича**  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
**«Исследование процессов двухфазной фильтрации смеси углеводородов в пористой  
среде с учетом фазовых переходов»**

Специальность 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы

Москва – 2021

## СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.03 на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Объединенного института высоких температур Российской академии наук  
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)  
Протокол № 3 от 27 декабря 2021 г.

Диссертационный совет Д 002.110.03 утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 15.02.2013 г. № 75/нк в составе 25 человек. На заседании присутствуют 20 человек, из них очно 4 доктора наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы и 6 докторов наук по специальности 2.4.5 – энергетические системы и комплексы и дистанционно 8 докторов наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы и 2 доктора наук по специальности 2.4.5 – энергетические системы и комплексы. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

**Председатель** – председатель диссертационного совета Д 002.110.03  
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Варакин А.Ю.

**Ученый секретарь** – ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.03  
к.т.н. Фрид С.Е.

	Фамилия, И.О.	Ученая степень, шифр специальности в совете	Присутствие
1	ВАРАКСИН А.Ю.	Чл.-корр. РАН, профессор 1.1.9	Очное присутствие
2	БАТЕНИН В.М.	Чл.-корр. РАН, профессор 2.4.5	Отсутствует
3	ФРИД С.Е.	К.т.н. 2.4.5	Очное присутствие
4	АЛХАСОВ А.Б.	Д.т.н., профессор 2.4.5	Удаленное подключение
5	АМИНОВ Р.З.	Д.т.н. 2.4.5	Удаленное подключение
6	БИТЮРИН В.А.	Д.ф.-м.н., с.н.с. 1.1.9	Очное присутствие
7	БОЧАРОВ А.Н.	Д.ф.-м.н. 1.1.9	Очное присутствие
8	ВАСИЛЬЕВ М.М.	Д.ф.-м.н. 1.1.9	Удаленное подключение
9	ВОРОБЬЕВ В.С.	Д.ф.-м.н., профессор 1.1.9	Удаленное подключение
10	ДИРЕКТОР Л.Б.	Д.т.н. 2.4.5	Очное присутствие
11	ЗАЙЧЕНКО В.М.	Д.т.н., с.н.с. 2.4.5	Очное присутствие
12	ЗЕЙГАРНИК В.А.	Д.т.н., с.н.с. 2.4.5	Очное присутствие
13	КЛИМОВ А.И.	Д.ф.-м.н., с.н.с. 1.1.9	Удаленное подключение

14	КОБЗЕВ Г.А.	Д.ф.-м.н., профессор 1.1.9	Очное присутствие
15	КРАСИЛЬНИКОВ А.В.	Д.т.н., с.н.с. 1.1.9	Отсутствует
16	ЛЕОНОВ С.Б.	Д.ф.-м.н. 1.1.9	Отсутствует
17	МЕДИН С.А.	Д.ф.-м.н., профессор 1.1.9	Удаленное подключение
18	ПОЛЯКОВ А.Ф.	Д.т.н., профессор 1.1.9	Отсутствует
19	ПОПЕЛЬ О.С.	Д.т.н., доцент 2.4.5	Очное присутствие
20	ПЯТНИЦКИЙ Л.Н.	Д.ф.-м.н., профессор 1.1.9	Отсутствует
21	РЯБОВ Г.А.	Д.т.н. 2.4.5	Очное присутствие
22	СИНКЕВИЧ О.А.	Д.ф.-м.н., профессор 1.1.9	Удаленное подключение
23	ТОМАРОВ Г.В.	Д.т.н., профессор 1.1.9	Удаленное подключение
24	ЧИННОВ В.Ф.	Д.т.н., профессор 1.1.9	Удаленное подключение
25	ШУГАЕВ Ф.В.	Д.ф.-м.н., доцент 1.1.9	Удаленное подключение

### ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации научного сотрудника лаборатории №12 – распределенной генерации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) **Молчанова Дмитрия Анатольевича** на тему «Исследование процессов двухфазной фильтрации смеси углеводородов в пористой среде с учетом фазовых переходов». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы. Диссертация выполнена в лаборатории №12 – распределенной генерации ОИВТ РАН (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, [jiht.ru](http://jiht.ru)).

#### Научный руководитель:

**Зайченко Виктор Михайлович** – д.т.н., старший научный сотрудник, заведующий лабораторией №12 – распределенной генерации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

#### Официальные оппоненты:

**Ганиев Олег Ривнерович** – гражданин РФ, д.т.н., директор Филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (НЦ НВМТ РАН; Россия, 119334, Москва, ул. Бардина, 4).

**Пурдин Михаил Сергеевич** – гражданин РФ, к.т.н., доцент кафедры Теплообменных процессов и установок Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»; Россия, 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1).

#### **Ведущая организация:**

**Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий — Газпром ВНИИГАЗ»** (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»); Россия, 142717, Московская обл., г.о. Ленинский, п. Развилка, пр-д Проектируемый № 5537, зд. 15, стр.1).

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.т.н. Ганиев О.Р. и к.т.н. Пурдин М.С., научный руководитель Молчанова Д.А. д.т.н., старший научный сотрудник Зайченко В.М.

### **СТЕНОГРАММА**

#### **Председатель**

Уважаемые члены диссертационного совета, кворум у нас имеется, поэтому предлагается начать наше сегодняшнее заседание. Уважаемые члены диссертационного совета, уважаемые присутствующие, перед тем, как начать нашу работу, мы почтим память ушедших членов диссертационного совета.

У нас сегодня на повестке дня защита диссертации Молчанова Дмитрия Анатольевича на тему «Исследование процессов двухфазной фильтрации смеси углеводородов в пористой среде с учетом фазовых переходов», которая представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы. Традиционно я предоставляю слово ученому секретарю Семену Ефимовичу для того, чтобы он сделал краткий обзор всех представленных материалов, необходимых для проведения сегодняшней защиты.

#### **Ученый секретарь**

*(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ)*

#### **Председатель**

Уважаемые коллеги, есть ли вопросы к ученому секретарю? Если вопросов нет, тогда слово мы предоставляем соискателю, Молчанову Дмитрию Анатольевичу. Просьба придерживаться регламента – 20 минут. Пожалуйста.

#### **Молчанов Д.А.**

*Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Молчанова Д.А. прилагается).*

**Председатель**

Спасибо, Дмитрий Анатольевич. Уважаемые коллеги, есть возможность задать вопросы.

**Воробьев В.С.**

Скажите пожалуйста, вы использовали термин обратная конденсация и просто испарение. Я так понял сначала, что обратная конденсация – это и есть испарение. Поясните пожалуйста, что Вы вкладывали в эти термины?

**Молчанов Д.А.**

При снижении давления происходит конденсация жидкости, причем мольная доля жидкости начинает расти до тех пор, пока не достигнет кривой максимальной конденсации. После этого при снижении давления уже происходит нормальное испарение, то есть жидкость начинает испаряться.

**Председатель**

Алексей Николаевич, пожалуйста, вопрос.

**Бочаров А.Н.**

Можно ли на первой же фазовой диаграмме хотя бы качественно объяснить области, где у Вас имеются автоколебания, затухающие колебания и фактически третий режим, когда масштаб колебаний увеличивается, амплитуда увеличивается чуть ли не на порядок. Вот на этой диаграмме можно примерно показать, где эти три области есть?

**Молчанов Д.А.**

Режим стационарный наблюдается за пределами ретроградной области, примерно здесь. При приближении к критической точке наблюдаются автоколебания, причем для этого нужно обеспечить довольно большой перепад давления, чтобы успели развиваться как процессы конденсации, так и испарения. Затем при увеличении мольной доли легкой фракции наблюдается переход от автоколебательного режима к режиму с затухающими колебаниями. По поводу режима с периодической блокировкой расхода, когда наблюдаются существенные амплитуды и периоды колебаний – этот режим реализуется при близкой к критическому значению мольной доли легкой фракции, но при этом еще важны свойства и флюида, и пористой среды – то есть при определенном пороге текучести происходит реализация такого режима.

**Председатель**

Олег Арсеньевич сейчас вопрос будет задавать.

**Синкевич О.А.**

Вот у вас есть два уравнения, одно – для изменения состава, другое – для скорости в форме Дарси. Система Ваша параболическая в математическом плане, давление Вы задаете на входе и на выходе, спрашивается, а в промежуточных точках как Вы давление рассчитываете?

**Молчанов Д.А.**

Вообще для решения этой системы уравнений использовался метод Адамса, для этого использовался алгоритм Гира. Я не могу Вам сказать точную реализацию, но такой подход позволял решить эту систему.

**Климов А.И.**

Можно вопрос?

**Председатель**

Климов Анатолий Иванович через Zoom.

**Климов А.И.**

Я по поводу экспериментальной установки – хорошо известно, что для процесса конденсации важны центры конденсации. Вы насыпали, насколько я понимаю, песок в трубу. Как менялись результаты экспериментальные, если Вы брали другие среды, другие размеры песчинок, другие материалы трубы. Влияло это как-то на результаты измерений или нет?

**Молчанов Д.А.**

Естественно, мы пробовали проводить эксперименты при крупной засыпке, при этом не происходило каких-либо особенностей при фильтрации, потому что поры были настолько крупными, что это не позволяло создать «конденсатную пробку». Соответственно, мы подбирали такой размер частиц, который позволил нам получить уже неустойчивые режимы фильтрации.

**Климов А.И.**

Но, все-таки, стенки трубы, они влияли на результаты? Потом, при конденсации выделялась энергия и поглощалась, у Вас не видно, как была обеспечена теплоизоляции, какая-то открытая система с теплообменом. Что Вы можете сказать по условиям эксперимента?

**Молчанов Д.А.**

Вообще теплоизоляция есть, экспериментальный участок заключен в теплозащитный кожух, наполненный минеральной ватой. Плюс ко всему сама установка находится в большом помещении, и в процессе экспериментов не допускалось проведение каких-либо тепловых работ. Температура контролировалась на входе и на выходе из экспериментального участка и по всей длине газовой магистрали, и по результатам контроля было получено, что температура в процесс эксперимента менялась не более, чем на 1 градус, поэтому мы считали, что процесс фильтрации изотермический.

**Председатель**

Вопрос – Олег Арсеньевич Синкевич.

**Синкевич О.А.**

У меня два вопроса. Первый – Вы очень много говорите про расчет, но никак не приводите численную схему, не приводите проверку, какие у Вас были ячейки, как Вы считали, меняли ли Вы размеры ячейки – это первый вопрос. Второй вопрос: у Вас приведены графики измерения во времени, почему же Вы не сделали быстрое Фурье-преобразование, чтобы посмотреть, какого типа колебания там возникают?

**Молчанов Д.А.**

По поводу первого вопроса я могу сказать, что уже была использована готовая модель, численная реализация которой показала, что метод устойчивый для решения таких систем. Мы проверяли его для бинарной смеси «метан–н-бутан», и по результатам численного эксперимента и физического моделирования, выполненного в Стэнфордском университете, мы получили хорошее соответствие нашей модели и тех результатов,

которые были получены в США. По поводу второго вопроса – да, я согласен, можно было провести преобразование Фурье, но мы этого не сделали.

**Председатель**

Так, спасибо. Алексей Николаевич, пожалуйста.

**Бочаров А.Н.**

Поясните, пожалуйста, вот у Вас записана фактически одномерная нестационарная задача, вы говорите, что используете методы Адамса, которые, как правило, применимы для решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Что здесь имеется в виду – по координате или по времени метод Адамса используется?

**Молчанов Д.А.**

По времени.

**Бочаров А.Н.**

А по пространству как дискретизация реализована? У вас же двухточечная задача в итоге должна получаться. Смотрите, Вы метод Адамса используете для движения вверх по времени, начиная с начальных условий. Я правильно понимаю?

**Молчанов Д.А.**

Да.

**Бочаров А.Н.**

Теперь у Вас в каждый момент времени есть распределение всех Ваших физических переменных (мольных долей жидкости, газа и так далее) по пространству, правильно? В каждый момент времени есть распределение, например, давления. Дальше, как Вы осуществляете дискретизацию уравнений или аппроксимацию по пространству? По времени Вы сказали, Вы используете метод Адамса соответствующего порядка, а по пространству как аппроксимация делается?

**Попель О.С.**

Он в основном экспериментом занимался.

**Бочаров А.Н.**

Нет, пардон, я задаю вопрос относительно того, что я видел на слайде. Что можно сказать?

**Молчанов Д.А.**

Я могу сказать, что была использована трехточечная схема по координате, но я занимался больше экспериментом, то есть я использовал уже готовую модель.

**Бочаров А.Н.**

А модель кто изготовил?

**Молчанов Д.А.**

Модель была разработана в нашей лаборатории Леонидом Бенциановичем Директором и Игорем Леонидовичем Майковым.

**Воробьев В.С.**

Вы использовали модифицированное уравнение Ван-дер-Ваальса, в чем смысл этой модификации, и, немного подробнее, что Вы учли и какие там поправки по уравнению классическому Ван-дер-Ваальса? Чем это обусловлено, немного подробнее не могли бы сказать?

**Молчанов Д.А.**

Это кубическое уравнение состояния было разработано как раз для расчета термодинамических свойств углеводородных смесей при температуре до 473 К и давлении до 100 МПа.

**Воробьев В.С.**

«с» и «d» – это что за константы? Что они учитывают? Какая физика? Вот «b» – это собственный объем атома, это мы знаем из уравнения Ван-дер-Ваальса, а вот эти вот константы?

**Молчанов Д.А.**

Это константы, которые учитывают силы отталкивания.

**Воробьев В.С.**

Отталкивания, да? Какой смысл в этих константах?

**Молчанов Д.А.**

Как Вы сказали, константа «b» отвечает за то, что атомы имеют какой-то объем, сами занимают объем, константы «с» и «d» показывают, что есть взаимодействие между частицами.

**Председатель**

Владимир Сергеевич, Вы удовлетворены ответом? Олег Арсеньевич, пожалуйста, еще вопрос.

**Синкевич О.А.**

Вы перед этим демонстрировали, что у Вас есть многокомпонентная смесь. То уравнение, которое Вы привели, – где здесь учитывается, что это многокомпонентная смесь?

**Молчанов Д.А.**

Эти коэффициенты «a», «b», «с» и «d» рассчитываются как раз для самой смеси. То есть в процессе расчета эти коэффициенты относятся не к компонентам, а к смеси. При этом они рассчитываются на основе свойств компонентов.

**Синкевич О.А.**

Тогда покажите, как Вы их рассчитывали? У вас есть смесь, для которой Вы написали уравнение, как Вы рассчитывали для этой смеси константы «с» и «d»?

**Молчанов Д.А.**

Вообще довольно большой алгоритм расчета, я его здесь не приводил. Есть свойства углеводородных компонентов, которые получены для этого уравнения – всего три свойства: два параметра и ацентрический фактор Питцера. Соответственно, на основе этих свойств рассчитываются коэффициенты «a», «b», «с» и «d».



**Синкевич О.А.**

Хорошо, я получил ответ. Тем не менее, есть еще вопрос.

**Председатель**

Давайте, Олег Арсеньевич, давайте еще.

**Синкевич О.А.**

Скажите пожалуйста, Вы все время говорите про метод Адамса, у Вас эксперименты показывают, что у Вас давление меняется по всему каналу, все-таки как Вы в рамках этого метода находили изменение давления в разных точках канала?

**Молчанов Д.А.**

При численном моделировании использовалось два варианта расчета, на выходе из модели пласта либо стоял регулятор давления, либо использовалось моделирование игольчатого клапана. Опять же, я не могу сказать Вам точно, как моделировалось все это, так как модель была использована уже готовая. Я разрабатывал только программу расчета термодинамических свойств углеводородной смеси.

**Синкевич О.А.**

Я замечу, что в Ваших выводах довольно много посвящено модели расчета, а Вы никак не можете ответить, как Вы это делали. Вы сказали, что модифицировали модель, где Ваша модификация?

**Молчанов Д.А.**

Мой расчет фазового состояния.

**Синкевич О.А.**

Расчет констант «с» и «d»? Или что?

**Молчанов Д.А.**

Это не только расчет констант «с» и «d», это расчет всех свойств смеси, соотношение газовой и жидкой фаз, плотности.

**Синкевич О.А.**

Еще один маленький вопрос: Вы при одной и той же температуре делали все эксперименты? Или Вы меняли температуру?

**Молчанов Д.А.**

Температура немного изменялась. Все эксперименты проводились при комнатной температуре, соответственно, мы не могли получить точное соответствие температуры каждого эксперимента, но при этом предварительно рассчитывалась фазовая диаграмма для каждой температуры, и мы подбирали такие параметры по перепаду давления и по составу, чтобы получить нужные нам режимы фильтрации.

**Синкевич О.А.**

Спасибо.

**Председатель**

Так, обращаюсь к присутствующим: еще есть вопросы? Или, может быть, достаточно?

### **Попель О.С.**

Все ясно.

### **Председатель**

Хорошо, тогда слово предоставляется научному руководителю, доктору технических наук Зайченко Виктору Михайловичу. Напоминаем, что говорить надо не по существу, а про соискателя.

### **Зайченко В.М.**

Спасибо. Я действительно не должен говорить о сути этой работы, я должен охарактеризовать человека, который представляет результат. Получается странная ситуация, мне много раз уже, наверное, приходилось выступать тут, чтобы не говорить о сути работы. Исполнитель является в этой концепции таким придатком к работе. В докладе Дмитрия было сказано, что есть масса сложностей в проведении эксперимента, которые надо было решить. Для того, чтобы решить вот эти сложности, а это, вообще говоря, достаточно сложная в экспериментальном плане работа (помните, он говорил про температуру в помещении и все прочее), требуется черты характера этого человека: он должен быть готов к тому, чтобы это преодолеть. Это очень сложный процесс, и диссертант с моей точки зрения с этой задачей, в принципе, справился. Хотя это не самая сложная задача. Самая сложная задача, которая здесь существует – смотрите, что происходит: он говорил о том, что впервые мы показали в эксперименте вот какие-то явления. Представьте себе людей, которые слышат, что кто-то впервые что-то сделал в эксперименте. Первая реакция какая? Эксперимент неправильный, погрешность большая – отсюда все эти явления. Вот это – огромная вещь, которая была сделана в этой работе, и поверить в то, что действительно были показаны какие-то новые явления, было очень сложно. И слава богу, я скажу, что Дмитрий с этим справился. Вот это, с моей точки зрения, его главная заслуга, главное достоинство и главное достижение в этой работе. А в принципе, эти решения многих вопросов заняли достаточно количество времени. Тут надо отметить недостаток, что эта работа над диссертацией продолжалась достаточно долго, но, с моей точки зрения выполнена она на очень хорошем уровне. Безусловно, она соответствует тем критериям, тем задачам, которые предъявляются к кандидатским диссертациям. Он справился с этой задачей, молодец, и, я думаю, что все должно быть хорошо. Спасибо за внимание.

### **Председатель**

Спасибо, Виктор Михайлович. Есть ли вопросы к научному руководителю? Если вопросов нет, слово предоставляется ученому секретарю для оглашения письменных отзывов: отзыва ведущей организации и отзывов, поступивших на автореферат. Семен Ефимович, пожалуйста.

### **Ученый секретарь**

Поступил отзыв ведущей организации. Ведущей организацией является общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий — Газпром ВНИИГАЗ». Отзыв положительный, с замечаниями:

1. Если особенности фазового состояния газоконденсатных флюидов и моделирования фазового состояния газоконденсатных систем, а также практические проблемы снижения продуктивности скважин в процессе эксплуатации газоконденсатных месторождений достаточно чётко и наглядно представлены в главе 1, то представленный там же анализ особенности фильтрации газоконденсатных смесей страдает отсутствием ясности. Невнятные и малоинформативные представленные рисунки. Вперемежку используются различные обозначения величин. Не указано к каким агентам относятся

кривые. На рисунках (перечисление рисунков) нет расшифровки сокращённых обозначений.

2. Автором разработан пакет программ расчета фазовых равновесий многокомпонентных углеводородных смесей и процессов фильтрации углеводородного флюида. Что нового привлек автор в разработанный пакет по сравнению с кубическим четырехкоэффициентным уравнением состояния многокомпонентных углеводородных систем Баталина О. Ю., Брусиловского А. И. и Захарова М. Ю., а также, по сравнению с существующими математическими моделями, описывающими нестационарное течение двухфазных смесей в пористых средах?

3. Целью исследований автора было изучение неустойчивых, в том числе, автоколебательных режимов фильтрации модельной смеси метан – пентан имеющих место в области ретроградной конденсации. Конфигурация этой области предопределяется положением критической точки на фазовой диаграмме. Автором исследованы три модельные бинарные смеси метан – пентан при мольной доли метана 0.75, 0.85, 0.9. При анализе результатов исследования фильтрации этих смесей желательно располагать фазовыми диаграммами этих смесей, включая параметры критических точек. Это позволит локализовать области ретроградной конденсации и прямого испарения жидкой фазы. К сожалению, существующие расчётные методы, включая четырехкоэффициентное кубическое уравнение состояния ван-дер-ваальсовского типа, дают большую погрешность значений параметров критических точек.

4. Автором исследованы три модельные бинарные смеси метан – пентан при мольной доли метана 0.75, 0.85 0.9. Для расчета термодинамических свойств системы им используется четырехкоэффициентное кубическое уравнение состояния ван-дер-ваальсовского типа. Для оценки точности автор сравнивает рассчитанные фазовые диаграммы бинарных смесей метан – пентан с экспериментальными данными, представленными в (указана ссылка на работу). Результаты сравнения представлены в диссертации. Как видно из рисунка, именно в диапазоне содержания 0.75, 0.85, 0.9 мольной доли метана четырехкоэффициентное кубическое уравнение состояния ван-дер-ваальсовского типа даёт достаточно большую погрешность (20% и более).

5. Почему при мольной концентрации метана 0.9 (смесь находится в ретроградной области фазовой диаграммы) не возникают автоколебания, аналогичные колебаниям при концентрации метана 0.85.

6. Автор повсеместно использует термин влагонасыщенность, при этом имея в виду насыщенность углеводородной жидкой фазой. Термин влагонасыщенность подразумевает насыщенность водой.

Это отзыв ведущей организации. На автореферат поступили отзывы. Отзывы все положительные и все с замечаниями.

**Первый отзыв** – отзыв зам. председателя Межведомственного научного совета по комплексным проблемам физики, химии и биологии при президиуме РАН, доктора технических наук, профессора Нижниковского:

1. Из текста автореферата не понятно, как термостатировался экспериментальный участок.

2. В автореферате нет результатов экспериментов с периодической блокировкой расхода, аналогичных результатам расчетов (рис. 8б).

**Второй отзыв** – отзыв зам. директора Института физики атмосферы им. А.М. Обухова, доктора физико-математических наук Чхетиани:

1. Почему при концентрации метана 0,9 (рис. 6а) не возникают автоколебания, аналогичные колебаниям при концентрации 0,85 (рис. 6б)?

2. В автореферате не приведено сопоставление данных хроматографии с результатами численных расчетов.

**Третий отзыв** – отзыв профессора кафедры Теоретические основы теплотехники Казанского национального исследовательского технологического университета, доктора технических наук Сабирзянова. Отзыв положительный, с замечаниями:

1. Контролировался ли состав смеси «метан–н-пентан» на входе в экспериментальный участок в процессе эксперимента?

2. Проверялся ли численный метод решения системы дифференциальных уравнений на устойчивость?

**Четвертый отзыв** – отзыв заведующего кафедрой Разработки и эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина, доктора технических наук, профессора Ермолаева:

1. Длина модели пласта составляет 3 м, а ее диаметр – 6 мм. Чем обусловлены такие геометрические размеры модели пласта? Также остается неясным способ удержания пористой засыпки в модели пласта.

2. В автореферате упоминается о том, что для подготовки модельной смеси используется физическом перемешивание, однако остается непонятным процесс контроля гомогенности модельной смеси.

**Пятый отзыв** – отзыв заведующего лабораторией геотермомеханики Института проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН, доктора физико-математических наук Рамазанова. Замечания:

1. В автореферате не приведено обоснование выбора смеси «метан–н-пентан» в качестве модельной смеси, имитирующей поведение реального многокомпонентного пластового флюида.

2. Было бы полезно привести рекомендации по возможным физическим методам предотвращения и подавления возникающих неустойчивостей течения флюида.

Все, спасибо.

#### **Председатель**

Спасибо, Семен Ефимович. Дмитрий Анатольевич, Вам предоставляется слово для ответа на прозвучавшие замечания.

#### **Молчанов Д.А.**

Да, спасибо. Мне зачитывать вопросы?

#### **Председатель**

Чем лаконичнее, тем лучше.

#### **Молчанов Д.А.**

Хорошо, тогда я начну с вопросов по автореферату.

Ответы на замечания профессора **Нижниковского Евгения Александровича** из **Межведомственного научного совета по комплексным проблемам физики, химии и биологии при президиуме РАН:**

1. Экспериментальный участок был установлен в защитный кожух, заполненный минеральной ватой. Изменение температуры воздуха в стендовом корпусе в течение всего эксперимента составляло не более 1 °С, что позволяло считать процесс фильтрации изотермическим.

2. Режим фильтрации с периодической блокировкой расхода осуществляет при меньших значениях порога текучести жидкой фазы, чем автоколебательный режим. Предел текучести жидкой фазы определяется как свойствами флюида, так и свойствами пористой среды. На текущий момент не удалось подобрать насыпную модель пласта, на которой возможно было реализовать режим фильтрации бинарной смеси «метан--н-пентан» с периодической блокировкой расхода.

Ответы за замечания доктора физико-математических наук **Чхетиани Отто Гурамовича** из **Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН**:

1. При концентрации метана 0,9 максимальная мольная доля жидкости составляет 0,155, а при концентрации метана 0,85 максимальная мольная доля жидкости составляла 0,36. Таким образом для реализации автоколебательного режима в случае концентрации метана 0,9 было недостаточно ретроградной жидкости.

2. Согласен с замечанием, следовало привести эти данные.

Ответы на замечания профессора **Сабирзянова Айдара Назимовича** из **Казанского национального исследовательского технологического университета**:

1. Да, контролировался. Кроме того, в процессе проведения эксперимента не допускалось снижение давления в разделительном цилиндре ниже критического давления модельной смеси при заданной температуре, что препятствовало изменению состава модельной смеси.

2. Существуют работы, посвященные анализу устойчивости метода Гира, к примеру, работа Михаила Семенова из Томского политехнического университета, в которой показано, что использование порядка метода, не превышающего 6, позволяет добиться абсолютной устойчивости метода. Кроме того, проводились тестовые расчеты с различными значениями предельного шага по времени, результаты которых показали, что при увеличении шага на порядок от использованного вид решения не изменяется.

Ответы на замечания профессора **Ермолаева Александра Иосифовича** из **Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина**:

1. Соотношение длины модели пласта и ее диаметра было выбрано с учетом соответствия одномерному приближению процесса фильтрации – длина модели много больше диаметра. Уменьшение диаметра экспериментального участка по сравнению с предыдущей версией позволило увеличить продолжительность эксперимента. Длина участка была выбрана так, чтобы на ней успели развиться как процессы конденсации, так и испарения. На торцах экспериментального участка были установлены штуцеры, в которые были вварены сетки для удержания пористой засыпки.

2. Критерием готовности модельной смеси служила стабилизация давления в разделительном цилиндре на закритических значениях после перемешивания. Также гомогенность определялась хроматографическим анализом.

Ответы на замечания доктора физико-математических наук **Рамазанова Мукамая Магомедовича** из **Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиала Объединенного института высоких температур РАН**:

1. Традиционно в газоконденсатных смесях выделяют легкие фракции ( $C_1 - C_4$ ) и тяжелые ( $C_{5+}$ ). В настоящей работе метан моделировал более легкие компоненты, н-пентан – более тяжелые. Данная смесь обладает достаточно широкой ретроградной областью фазовой диаграммы при тех термобарических условиях, которые могут быть достигнуты на оборудовании экспериментального стенда «Пласт-2». При этом компоненты модельной смеси существенно отличаются друг от друга по физико-химическим характеристикам, что увеличивает вероятность получения нестационарных режимов фильтрации. Компоненты доступны и смесь проста в приготовлении.

2. Неустойчивости течения модельной смеси возникают из-за процесса накопления ретроградного конденсата в пористом пространстве, вызванного различиями в фазовых проницаемостях жидкой и газовой фаз углеводородного флюида. Одним из способов подавления возникающих колебаний является повышение давления на выходе из модели пласта. При этом мольная доля жидкости увеличивается, что позволяет сохранить подвижность жидкой фазы, и процесс накопления конденсата прекращается.

Ответы на замечания ведущей организации:

1. Согласен с замечанием, я счет целесообразным оставить рисунки в оригинальном виде.

2. Целью диссертационной работы было изучение неустойчивых режимов фильтрации углеводородной системы, моделирующей свойства реальных газоконденсатных флюидов. Для определения условий фазового равновесия модельной смеси использовалось готовое кубическое уравнение состояния, созданное для расчета термодинамических свойств многокомпонентных углеводородных систем при температурах до 473 К и давлениях до 100 МПа. Это уравнение не требовало доработки, но при этом отсутствовала программная реализация в свободном доступе. Для расчета гидродинамики течения двухфазной смеси в пористой среде использовалось данное уравнение состояния, в существующих математических моделях термодинамические свойства флюида моделируются другими уравнениями состояния – модифицированными уравнениями состояния Соаве-Редлиха-Квонга, Пенга-Робинсона, Бенедикта-Вебба-Рубина. Также для расчета гидродинамики процесса фильтрации использовалась система уравнений, записанная относительно компонентов модельной смеси, а не фаз.

3. Да, действительно, расчет фазового состояния и термодинамических свойств в околокритической области имеет довольно большую погрешность по сравнению с экспериментальными данными. Однако такой точности было достаточно для определения диапазона давлений и составов, при которых возможно осуществление неустойчивых режимов фильтрации.

4. Да, действительно, точность расчета свойств модельной смеси является не слишком высокой, однако было важно получить качественные данные по возникновению различных режимов фильтрации путем численного моделирования, а затем уже проверить их экспериментально. К тому же фазовая диаграмма углеводородной системы может меняться из-за влияния самой пористой среды. Это одна из причин, почему нет полного соответствия расчетных и экспериментальных режимных параметров.

5. Данное замечание аналогично замечанию к автореферату, и ответ на него был дан ранее.

6. С замечанием согласен, зачастую термин влагонасыщенность подразумевает насыщенность водой, однако есть ряд работ, в которых под этим термином подразумевается именно насыщенность пористой среды углеводородной жидкой фазой.

Все, спасибо.

### **Председатель**

Спасибо, Дмитрий Анатольевич. Может быть, у кого-нибудь возникли вопросы? Тогда переходим к выступлению официальных оппонентов. Слово предоставляется официальному оппоненту, доктору технических наук Ганиеву Олегу Ривнеровичу, представляющему Филиал Института машиноведения имени Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН». Пожалуйста, Олег Ривнерович, Вам слово.

### **Ганиев О.Р.**

Добрый день, коллеги. Не буду долго держать ваше внимание, скажу, что отзыв в целом положительный, работа посвящена достаточно актуальной теме, которая интересует промышленность, газодобывающую отрасль. Но есть замечания:

1. Чем обоснован использованный в расчетах вид функций относительных фазовых проницаемостей?

2. Из текста диссертации не ясно, контролировался ли состав смеси «метан–н-пентан» на входе в экспериментальный участок в процессе экспериментов.

3. Определялось ли значение проницаемости пористой среды после экспериментов?

4. Автор излишне подробно описывает стандартный процесс определения коэффициента проницаемости пористой среды.

В целом диссертация Молчанова Д.А. соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», и автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы. Спасибо за внимание.

**Председатель**

Спасибо, Олег Ривнерович, за лаконичность. У кого-нибудь есть вопросы к официальному оппоненту?

**Синкевич О.А.**

Есть вопрос. Скажите пожалуйста, Вам разве никогда не приходилось слышать о колебательных режимах фильтрации?

**Ганиев О.Р.**

Приходилось, это установленный в газодобывающей промышленности факт.

**Синкевич О.А.**

Все, спасибо, я получил ответ.

**Председатель**

Спасибо, Олег Арсеньевич, Олег Ривнерович. Дмитрий Анатольевич, Вам предоставляется слово для ответа на прозвучавшие замечания.

**Молчанов Д.А.**

Да, спасибо. Ответы на замечания по диссертации:

1. В литературе отсутствуют данные по относительным фазовым проницаемостям метана и н-пентана, поэтому в предварительных расчетах были использованы зависимости для воздуха и воды. После проведения экспериментальных исследований были уточнены коэффициенты, входящие в выражения для функций относительных фазовых проницаемостей.

2. Да, контролировался.

3. Да, определялось. Различие с исходной проницаемостью экспериментального участка не превышало погрешность определения этой величины и составляло 10%.

4. Могу частично согласиться с этим замечанием, возможно, описание можно было сократить. Однако следует заметить, что процесс определения коэффициента проницаемости пористой среды стандартизован для керновых образцов и регламентируется ГОСТом, однако для насыпных моделей такие стандарты отсутствуют. Поэтому в рамках работы над диссертацией была разработана и описана методика измерения коэффициента проницаемости насыпной модели.

Спасибо.

**Председатель**

Спасибо, Дмитрий Анатольевич. Переходим к выступлению следующего оппонента. Следующим официальным оппонентом является кандидат технических наук Пурдин Михаил Сергеевич, представляющий Московский энергетический институт. Михаил Сергеевич, пожалуйста, проходите к микрофону.

**Пурдин М.С.**

Добрый день, уважаемый председатель, уважаемые члены диссертационного совета. Хотел бы некоторые вводные положения озвучить. Известно, что проблеме проницаемости

пластов уделяется в настоящее время достаточно много внимания, об этом даже в новостях можно услышать. В том числе исследования подобных процессов важны и при решении различных задач подземной гидродинамики – задач фильтрации нефтегазовых и газоконденсатных смесей, технологии вытеснения углеводородов. Не буду уделять много внимания всему отзыву, сосредоточусь на основных положениях. Во второй главе приведено описание экспериментального стенда «Пласт-2». Следует отметить, что Дмитрий Анатольевич провел реконструкцию стенда «Пласт» и провел достаточно большую экспериментальную работу с учетом использования горючих газов при высоких давлениях. Основные замечания по диссертационной работе (некоторые из членов совета предрекли мои вопросы):

1. В работе указана приборная погрешность измерительных средств, оценена погрешность других физических величин, полученных косвенным путем. На странице 76 определена относительная погрешность коэффициента проницаемости от 10 до 30 %, что является хорошим результатом, учитывая сложность эксперимента. Однако не указана методика оценки погрешности.

2. На странице 75 указано, что осуществлялось вакуумирование экспериментального участка перед началом экспериментов. Учитывая возможную подвижность засыпки, ее фильтрационные свойства могли меняться. Каким образом контролировалась величина коэффициента проницаемости экспериментального участка в ходе всех экспериментов?

3. На страницах 85 – 87 указано, что давление смеси поддерживалось постоянным на входе в экспериментальный участок. Но не ясно, поддерживалась ли постоянной температура?

4. На странице 90 записано уравнение сохранения импульса в виде одномерного закона Дарси, однако не указана область применения такой формы.

5. На страницах 96-99 показаны схема дискретизации и трехточечная центрально-разностная аппроксимация уравнений фильтрации по оси  $x$ . Но не показан способ аппроксимации во времени.

6. На странице 99 указано, что использован программный модуль DIFSUB, решающий дифференциальные уравнения методом Адамса. Но в тексте нет пояснений о том, какой применен порядок метода, к какой из осей он применен и оценена ли погрешность решения.

7. На странице 101 представлена блок-схема пакета программ. Из нее не ясно, при положительном результате работы второго блока сравнения происходит переход в результат работы пятого блока сравнения или в точку перед блоком DIFSUB. Похожая ситуация возникает с четвертым блоком сравнения.

8. Удалось ли выделить область существования автоколебательных режимов фильтрации без конденсатных «пробок» в зависимости от режимных параметров?

В заключении хочу сказать, что работа достаточно объемная, сложная, и диссертант успешно с ней справился, поэтому считаю, что диссертация Молчанова Дмитрия Анатольевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне, полученные результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы, основные результаты работы в полной мере отражены в автореферате и публикациях автора. Работа полностью соответствует установленным критериям. Спасибо.

### **Председатель**

Спасибо, Михаил Сергеевич. Может быть, у присутствующих возникли вопросы к официальному оппоненту? Можно их задать. Если вопросов нет, еще раз поблагодарим Михаила Сергеевича за обстоятельный отзыв. Предоставляем слово Дмитрию Анатольевичу для ответа на прозвучавшие замечания.



### **Молчанов Д.А.**

Ответы на замечания:

1. Оценка погрешности коэффициента проницаемости рассчитывалась по методике определения погрешностей косвенных измерений.
2. После проведения серии экспериментов проводилось измерение коэффициента проницаемости модели пласта. Различие с исходной проницаемостью экспериментального участка не превышало погрешность определения этой величины.
3. Температура модельной смеси контролировалась на протяжении всего газового тракта, изменение температуры в течение всего эксперимента составляло не более 1 °С.
4. Закон Дарси применим в определенном диапазоне чисел Рейнольдса, верхнюю границу которого связывают с критическим значением. В главе 2 на странице 74 указаны диапазоны критических значений чисел Рейнольдса, при которых применим закон Дарси. Параметры фильтрации были подобраны таким образом, чтобы рассчитанные числа Рейнольдса укладывались в эти диапазоны.
5. Дискретизация по времени заложена в использованный алгоритм Гира, выбор шага по времени происходит автоматически.
6. Порядок метода – 6, сам метод применен к оси времени. Для нахождения решения точность метода задается. Были проведены тестовые расчеты с различными значениями шага по времени, показано, что при переходе от шага 0,1 с к шагу 0,01 с вид решения не изменялся.
7. Согласен с замечанием, можно было сделать блок-схему пакета программ более наглядной. При положительном результате работы второго блока сравнения происходит переход в точку перед блоком DIFSUB. При отрицательном результате работ четвертого блока сравнения происходит переход в точку перед блоком PRESSURE.
8. Да, при уменьшении разницы между давлением на выходе из модели пласта и давлением максимальной конденсации происходит смена режима с периодической блокировкой расхода на автоколебательный режим. При дальнейшем увеличении давления на выходе из модели пласта реализуется режим с затухающими колебаниями.

Спасибо.

### **Председатель**

Спасибо, Дмитрий Анатольевич. Тогда переходим к короткой, я надеюсь, дискуссии. Кто хочет выступить? Может быть, есть желающие онлайн? Анатолий Иванович, пожалуйста.

### **Климов А.И.**

Уважаемые коллеги, я должен сказать, что я, честно говоря, так и не понял акцента в этой работе – то ли она экспериментальная, то ли теоретическая. И то, и другое имеется. Но и по теоретической части есть замечания, что по существу была проведена модернизация, а сама методология была разработана другим. А по эксперименту очень мало сказано, если говорить про экспериментальную часть. Экспериментаторы привыкли указывать состав стенда, оборудование, точность измерения и экспериментальные условия. Ничего этого я не увидел в этой диссертации. Какая-то трубка есть, как-то она функционирует, но это нестрогая экспериментальная работа, про которую можно сказать, что она имеет прямое отношение либо к фундаментальным исследованиям, либо к практике – к моделированию пластов, течений в пластах. Трудно сделать этот шаг от этих исследований к практике. Мне кажется, это мнение сложилось у всех вас. Поэтому хотелось бы сделать акценты и сказать, что работа в основном экспериментальная, а теоретически мы взяли предыдущие рекомендации, предыдущие расчеты и

воспользовались ими. В докладе все было перевернуто с ног на голову – мы услышали много про расчет, но очень мало про эксперимент. Спасибо большое. Это мои замечания, и хотелось бы, чтобы в заключении автор использовал эти пожелания в его адрес.

### **Председатель**

Спасибо, Анатолий Иванович. Тогда не удержусь, тоже пару слов скажу о своем впечатлении. Мы прекрасно знаем это направление работ, которое развивается уже много десятилетий, больше 20-30 лет, в нашем институте. Конечно, Дмитрий Анатольевич пришел не на пустое место. Эксперимент на самом деле очень сложный, потому что приходится иметь дело с высокими параметрами – высокими, прежде всего, давлениями. Безусловно, они здесь сегодня прозвучали, поэтому техника эксперимента и культура должна быть высокой. Да, действительно, в докладе, может быть, в тексте диссертации, которую я подробно не смотрел, где-то это смазано, но лично у меня нет совершенно никаких сомнений, что эта работа имеет крен в экспериментальную область. Мы сегодня будем обсуждать и принимать проект заключения, и в проекте должен быть перемещен акцент со всей расчетной части на все результаты, очень интересные, имеющие новизну и подтверждающие в первую очередь квалификацию нашего соискателя. Поэтому этот акцент нужно сделать насколько это возможно по итогам сегодняшнего заседания. Много замечаний прозвучало по модели – да, знаем, что математические модели активно развивались в этом коллективе, были и двумерные модели, в данном случае – в одномерной постановке. Но мы имеем дело с двухфазной средой при высоких параметрах, поэтому те подходы, которые были развиты раньше в лаборатории, в частности, вспоминаются работы Игоря Леонидовича Майкова, научного руководителя и всей команды, которую большинство из нас хорошо знает – да, эти подходы были развиты, да, эти подходы показали свою работоспособность, в том числе и с привлечением тех новых экспериментальных данных, которые были получены в этой лаборатории. Эти результаты признаны, я считаю, что они, прежде всего, представляют не только фундаментальный интерес, может быть, даже больше практический, потому что понятно, что увеличение нефтеотдачи пластов – это актуальная проблема. Поэтому, что касается соискателя, у меня нет никакого сомнения, что его квалификация как-то не соответствует. Она полностью соответствует искомой степени, поэтому, Анатолий Иванович, я сейчас озвучу свое мнение: я, безусловно, буду голосовать положительно и призываю сделать то же моих коллег по диссертационному совету, которые присутствуют здесь в зале и которые присутствуют у нас онлайн. Спасибо. Кто еще готов выступить? Нет? Тогда в соответствии с нашим регламентом, предоставляем Дмитрию Анатольевичу заключительное слово перед тем, как мы приступим к голосованию. Пожалуйста.

### **Молчанов Д.А.**

Спасибо за возможность выступить с заключительным словом. Я хочу поблагодарить своего научного руководителя Виктора Михайловича Зайченко за предоставленное доверие и поддержку в процессе работы над диссертацией. Также хочу выразить огромную благодарность ведущему инженеру Суслову Владимиру Александровичу и технику Владиславу Владимировичу Пронину за неоценимую помощь в проектировании и создании экспериментального стенда «Пласт-2», а также хочу поблагодарить Леонида Бенциановича Директора за ценные обсуждения, за помощь в планировании экспериментов и интерпретации полученных данных. И, конечно, хочу выразить огромную благодарность своей семье, своим родным и близким за ту поддержку, которую они оказывали мне на протяжении всей работы. Спасибо.

### **Председатель**

Спасибо, Дмитрий Анатольевич. Следующий пункт – выбор счетной комиссии и проведение голосования. Однако, процедура голосования поменялась, поэтому Семен Ефимович сделает необходимые пояснения, будет объявлен перерыв для проведения голосования. Все будем голосовать в электронном виде, как присутствующие в зале, так и те, кто присутствуют онлайн. Тогда Семен Ефимович поясняющие комментарии тоже сделает, просьба к членам совета – не расходиться, будем подводить итоги голосования, обсуждать проект Заключения и принимать его. Семен Ефимович, Вам слово.

**Ученый секретарь**

Есть предложение объявить перерыв на 10-15 минут для того, чтобы все могли электронно проголосовать. Те, кто могут проголосовать со смартфона – голосуйте со смартфона. Те, кто не может – подходите, тут стоит два ноутбука, с которых это можно сделать. Те, кто у нас участвуют удаленно, пожалуйста, голосуйте – система открыта для голосования. У меня все.

**Председатель**

Если вопросов нет, значит, просьба – приступить к голосованию. И, как я уже просил, не расходиться. Если вопросы есть, подходите сюда, мы с Семеном Ефимовичем будем помогать.

*(Проводится процедура тайного голосования)*

**Ученый секретарь**

Результаты голосования: всего участвует 19 членов совета, из них 10 – очно, 9 – удаленно. Подано 19 голосов «За»; «Против» и «Воздержавшихся» нет.

**Председатель**

Дмитрий Анатольевич, поздравляем Вас с блестящей защитой. Теперь не расходимся. Нам, во-первых, нужно утвердить результаты голосования. Кто за то, чтобы утвердить результаты голосования? Спасибо. Кто против? Кто воздержался? Единогласно. Теперь нам нужно обсудить проект Заключения.

*(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения)*

**Председатель**

Проект был разослан, роздан. Все, кто хотел, ознакомился, поэтому мы с замечаниями сейчас проголосуем за проект Заключения. Кто за то, чтобы принять проект Заключения? Спасибо. Кто воздержался? Кто против? Единогласно. *(Проект заключения принят единогласно)*. Тогда присутствующим большое спасибо за участие в сегодняшней важной защите. Дмитрий Анатольевич, еще раз поздравляем. И всех с наступающим Новым годом, чтобы следующий год был намного лучше, чем тяжелый год 2021. Поэтому всех с наступающим Новым годом, счастья и оптимизма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.03, СОЗДАННОГО НА  
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 27.12.2021 г. № 3

о присуждении Молчанову Дмитрию Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование процессов двухфазной фильтрации смеси углеводородов в пористой среде с учетом фазовых переходов» по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы, принята к защите 25.10.2021г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д 002.110.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, ijht.ru), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 75/нк от 15.02.13 г.

Соискатель Молчанов Дмитрий Анатольевич, 1989 года рождения, в 2013 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Работает в должности научного сотрудника в лаборатории №12 – распределенной генерации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

В 2016 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории № 12 – распределенной генерации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор технических наук, старший научный сотрудник Зайченко Виктор Михайлович, заведующий лабораторией №12 – распределенной генерации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

– доктор технических наук Ганиев Олег Ривнерович, директор Филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН»;

– кандидат технических наук Пурдин Михаил Сергеевич, доцент кафедры Теплообменных процессов и установок Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ"

дали положительный отзыв на диссертацию.

Ведущая организация:

Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий — Газпром ВНИИГАЗ» в своем положительном заключении, составленном главным научным сотрудником Корпоративного центра исследования пластовых систем (керна и флюиды), д.т.н. Рассохиным С.Г. и главным научным сотрудником лаборатории физики пласта Корпоративного центра исследования пластовых систем (керна и флюиды), д.т.н. Булейко В.М. (утвержденном 03.12.2021 г. заместителем генерального директора ООО «Газпром ВНИИГАЗ» к.т.н. Кантюковым Р.Р.), указало, что диссертация выполнена на актуальную тему, результаты, полученные лично диссертантом, способствуют разработке эффективных методов повышения продуктивности газоконденсатных скважин и могут быть рекомендованы для использования при дальнейших исследованиях особенностей фильтрации

газоконденсатных смесей, в том числе флюидов реальных газоконденсатных месторождений в широком диапазоне термобарических параметров.

Результаты работы опубликованы в 9 научных статьях, из которых 4 статьи – в журналах из перечня ВАК, 5 – в изданиях, индексируемых в реферативной базе данных Scopus. Перечень работ:

1. Качалов, В.В. Газоконденсатная залежь как колебательная система осциляторного типа / В.В. Качалов, И.Л. Майков, Д.А. Молчанов, В.М. Торчинский // Вести газовой науки. – 2014. – Т. 18, № 2. – С. 106-112.
2. Зайченко, В.М. Моделирование воздействия детонационных волн на имитатор газоконденсатного пласта / В.М. Зайченко, Д.А. Молчанов, В.М. Торчинский // Бурение и Нефть. – 2016. – Т. 11. – С. 26-30.
3. Григорьев, Б.А. Математическое моделирование процессов изотермической фильтрации газоконденсатной смеси при различных режимах течения / Б.А. Григорьев, В.М. Зайченко, Д.А. Молчанов, В.Н. Сокотущенко // Вести газовой науки. – 2014. – Т. 28, № 4. – С. 37-40.
4. Батенин, В.М. Двухфазная фильтрация многокомпонентных смесей с ретроградной областью фазовой диаграммы / В.М. Батенин, В.М. Зайченко, Д.А. Молчанов, В.М. Торчинский // Доклады Академии Наук. – 2017. – Т. 472, № 5. – С. 1-3.
5. Kachalov, V.V. Features of saturates mixture filtration in porous medium / V.V. Kachalov, I.L. Maikov, D.A. Molchanov, V.M. Torchinsky, V.M. Zaichenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2015. – Vol. 653. – P. 012108.
6. Zaichenko, V.M. Experimental study of two-phase filtration regimes of methane–n-pentane mixture / V.M. Zaichenko, D.A. Molchanov, V.M. Torchinskiy // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 774. – P. 012042.
7. Kachalov, V.V. Mathematical modeling of gas-condensate mixture filtration in porous media taking into account non-equilibrium of phase transition / V.V. Kachalov, D.A. Molchanov, V.N. Sokotushchenko, V.M. Zaichenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 774. – P. 012043.
8. Molchanov, D.A. The calculation of the phase equilibrium of the multicomponent hydrocarbon systems / D.A. Molchanov // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 946. – P. 012114.
9. Molchanov, D.A. Simulation of the filtration process of hydrocarbon binary fluid with retrograde properties / D.A. Molchanov // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1556. – P. 012058.

Получено одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, разработанной в рамках диссертационного исследования Молчановым Д.А.:

Программа расчета фазового равновесия многокомпонентной смеси углеводородов: пат. 2017662580 Рос. Федерация № 2017619260; заявл. 11.09.2017; зарег. 13.11.2017, Бюл. N 11–2017, 1 с.

На автореферат поступили отзывы:

– Межведомственный научный совет по комплексным проблемам физики, химии и биологии при президиуме РАН (зам. председателя, д.т.н., профессор Нижниковский Е.А.) – отзыв положительный, с замечаниями:

1. Из текста автореферата не понятно, как термостатировался экспериментальный участок.
2. В автореферате нет результатов экспериментов с периодической блокировкой расхода, аналогичных результатам расчетов (рис. 8б).

– Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (зам. директора, д.ф.-м.н. Чхетиани О.Г.) – отзыв положительный, с замечаниями:

1. Почему при концентрации метана 0,9 (рис. 6а) не возникают автоколебания, аналогичные колебаниям при концентрации 0,85 (рис. 6б)?

2. В автореферате не приведено сопоставление данных хроматографии с результатами численных расчетов.

– ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (профессор кафедры «Теоретические основы теплотехники», д.т.н., профессор Сабирзянов А.Н.) – отзыв положительный, с замечаниями:

1. Контролировался ли состав смеси «метан–н-пентан» на входе в экспериментальный участок в процессе эксперимента?

2. Проверялся ли численный метод решения системы дифференциальных уравнений на устойчивость?

– ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина» (зав. кафедрой Разработки и эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений, д.т.н., профессор Ермолаев А.И.) – отзыв положительный, с замечаниями:

1. Длина модели пласта составляет 3 м, а ее диаметр – 6 мм. Чем обусловлены такие геометрические размеры модели пласта? Также остается неясным способ удержания пористой засыпки в модели пласта.

2. В автореферате упоминается о том, что для подготовки модельной смеси используется физическое перемешивание, однако остается непонятным процесс контроля гомогенности модельной смеси.

– Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал Объединенного института высоких температур РАН (зав. лаб. геотермомеханики, д.ф.-м.н. Рамазанов М.М.) – отзыв положительный, с замечаниями:

1. В автореферате не приведено обоснование выбора смеси «метан–н-пентан» в качестве модельной смеси, имитирующей поведение реального многокомпонентного пластового флюида.

2. Было бы полезно привести рекомендации по возможным физическим методам предотвращения и подавления возникающих неустойчивостей течения флюида.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:

– Д.т.н. Ганиев О.Г. является крупным специалистом в области волновых технологий и моделирования фильтрационных потоков в пористых средах. В сферу научных интересов Ганиева О.Р. входит изучение особенностей распространения волн в насыщенной пористой среде, разработка методов увеличения компонентоотдачи месторождений углеводородов.

1. Ганиев, О.Р. Основы волноводной механики продуктивных пластов / О.Р. Ганиев, Р.Ф. Ганиев, Л.Е. Украинский, И.Г. Устенко // Доклады Академии наук. – 2016. – Т. 466, № 3. – С. 298-301.

2. Ганиев, О.Р. Повышение нефтеотдачи пластов на основе волноводных эффектов. Немонотонность затухания двухмерных волн в волноводе / О.Р. Ганиев, Р.Ф. Ганиев, А.В. Звягин, Л.Е. Украинский, И.Г. Устенко // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2016. – Т. 228, № 3. – С. 42-48.

3. Айдагулов, Р.Р. Эффекты нелокальной гидромеханики при течении в тонких каналах / Р.Р. Айдагулов, О.Р. Ганиев // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 473, № 5. – С. 536-538.

– К.т.н. Пурдин М.С. является ведущим специалистом в области теплообмена при пульсационных режимах течения. В настоящее время основные исследования Пурдина М.С. связаны с изучением особенностей гидродинамики и теплообмена при стационарном и пульсирующем течении в каналах, а также с моделированием процессов, проходящих в аккумуляторах теплоты с фазовыми переходами.

1. Valueva, E.P. An investigation of heat transfer for a pulsating laminar flow in rectangular channels with a boundary condition of the second kind / E.P. Valueva, M.S. Purdin // High Temperature. – 2018. – Vol. 56, № 1. – P. 149-152.

2. Valueva, E.P. Hydrodynamics and heat transfer for large amplitude pulsating laminar flow in channels / E.P. Valueva, M.S. Purdin // Thermophysics and Aeromechanics. – 2018. – Vol. 25, № 5. – P. 705-716.

3. Пурдин, М.С. Развивающееся пульсирующее с малыми амплитудами ламинарное течение в прямоугольном канале / М.С. Пурдин // Инженерно-физический журнал. – 2021. – Т. 94, № 5. – С. 1296-1308.

– ООО «Газпром ВНИИГАЗ» – является одной из широко известных научных организаций России в области изучения процессов фильтрации флюидов газовых и газоконденсатных месторождений, разработки новых методов интенсификации добычи углеводородов, а также исследования термодинамических свойств углеводородных систем.

1. Buleiko, V.M. Phase Behavior of Hydrocarbon Mixtures for the Low Concentration of Heavy Hydrocarbon Components / V.M. Buleiko, D.V. Buleiko // Int J Thermophys. – 2020. – Vol. 41 (27), №3. – P. 1-25.

2. Троицкий, В.М. О физическом механизме нелинейного закона фильтрации газа в пористых средах / В.М. Троицкий // Вести газовой науки. – 2021. – Т. 47, №2. – С. 126-137.

3. Троицкий В.М. О результатах исследования фильтрационных свойств пористых сред с ультранизкой газопроницаемостью / В.М. Троицкий, С.Г. Рассохин, А.Ф. Соколов, А.В. Мизин, В.П. Ваньков, А.С. Рассохин // Вести газовой науки. – 2021. – Т. 47, №2. – С. 118-125.

**Диссертационный совет отмечает, что в результате выполненных соискателем исследований:**

– экспериментально показано, что необходимым условием возникновения неустойчивых, в т.ч. автоколебательных режимов фильтрации модельной смеси «метан–н-пентан» является последовательное прохождение смеси процессов обратной конденсации и прямого испарения при значительном перепаде давления;

– экспериментально определены диапазоны давлений и концентраций смеси «метан–н-пентан», при которых реализуются автоколебательные режимы течения;

– методом численного моделирования определены условия возникновения режимов фильтрации с периодической блокировкой расхода смеси (образование «конденсатных пробок»).

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

– созданный в процессе работы стенд «Пласт-2» позволяет проводить исследования особенностей фильтрации газоконденсатных смесей, в т.ч. флюидов реальных газоконденсатных месторождений в широком диапазоне термобарических параметров и моделировать физические методы воздействия на пластовые системы с целью предотвращения неустойчивых режимов фильтрации;

– разработанный пакет программ расчета фазовых равновесий многокомпонентных углеводородных смесей и процессов фильтрации углеводородного флюида дает возможность моделировать реальные процессы, происходящие в призабойной зоне газоконденсатных месторождений (режимы «на истощение», режимы с периодической блокировкой расхода флюида, автоколебательные режимы), и моделировать физические методы воздействия на газоконденсатную систему.

**Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательских и конструкторских организациях, занимающихся разработкой новых методов воздействия на газоконденсатные пласты: ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа**

(НИУ) им. И.М. Губкина», ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН, ФГБУН ОИВТ РАН, ООО Газпром ВНИИГАЗ и др.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- результаты получены на сертифицированном оборудовании;
- идея диссертационной работы базируется на анализе научно-технической литературы в предметной области исследования, обобщении опыта работы других научных групп, лабораторий и технологических компаний;
- использованы современные методы и приборы для исследования процесса фильтрации смеси углеводородов;
- установлено удовлетворительное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

**Личный вклад соискателя** состоит в его непосредственном участии в выборе темы исследования, постановке задачи; автором лично разработаны программные коды для расчета фазового состояния многокомпонентных углеводородных смесей и визуализации полученных в результате физического моделирования данных, методики подготовки модельных смесей и проведения экспериментальных исследований. Автор принимал непосредственное участие в модернизации экспериментальной установки, в анализе и интерпретации полученных данных, а также в формулировке выводов и в обосновании моделей.

Апробация результатов исследования проводилась на 17 научных конференциях, в которых автор принимал личное участие. Основные публикации по выполненной работе подготовлены при непосредственном участии Молчанова Д.А.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель согласился с техническими замечаниями, ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, обосновав свою точку зрения.

На заседании от 27.12.2021 г. Диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, присудить Молчанову Д.А. ученую степень кандидата технических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 20 человек, из них очно: 4 доктора наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы и 6 докторов наук по специальности 2.4.5 – энергетические системы и комплексы и дистанционно 8 докторов наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы и 2 доктора наук по специальности 2.4.5 – энергетические системы и комплексы, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 20, против 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель Диссертационного совета Д 002.110.03  
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор

Вараксин А.Ю.

Ученый секретарь Диссертационного совета Д 002.110.03  
к.т.н.



Фрид С.Е.  
27.12.2021 г.