

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.418.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24.02.2022 № 4

О присуждении Гильманову Александру Яновичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Интегральная модель тепломассопереноса при парогравитационном дренаже» по специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 15 декабря 2021 года, протокол заседания №8 диссертационным советом 24.2.418.02, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6. Приказ Минобрнауки России от 02.11.2012 № 714/нк.

Соискатель Гильманов Александр Янович, 06.10.1996 года рождения, в 2020 году окончил магистратуру по направлению подготовки 16.04.01 «Техническая физика» ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет». В период подготовки диссертации соискатель Гильманов Александр Янович обучался в очной аспирантуре в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский государственный университет» по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика (профиль: Механика жидкости, газа и плазмы) с 01.09.2020 по настоящее время. Справка о сданных кандидатских экзаменах № 37 выдана 05.10.2021 федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Тюменский государственный университет».

В настоящее время работает инженером 2 категории на кафедре моделирования физических процессов и систем Физико-технического института ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Диссертация выполнена на кафедре моделирования физических процессов и систем ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, профессор кафедры моделирования физических процессов и систем Шевелёв Александр Павлович, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

Официальные оппоненты: 1) **Рамазанов Айрат Шайхуллович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры геофизики ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»; 2) **Пятков Александр Александрович** – кандидат физико-математических наук, ведущий специалист отдела реализации проектов НИОКР управления научно-технического развития ООО «Тюменский нефтяной научный центр» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» в своем положительном заключении, подписанном доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником лаборатории математического моделирования процессов фильтрации Института механики и машиностроения **Никифоровым А.И.** кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником лаборатории математического моделирования гидрогеологических процессов Института механики и машиностроения **Цапаевым А.В.** и утвержденным директором ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», профессором РАН, доктором физико-математических наук **Калачевым А.А.**, указала, что диссертационная работа Гильманова Александра Яновича «Интегральная модель тепломассопереноса при парогравитационном дренаже» по актуальности, научной новизне, основным

положениям, научной, практической значимости и достоверности полученных результатов соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Гильманов Александр Янович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Соискатель имеет 13 работ по теме диссертации, из которых 3 входит в изданиях из международных баз данных и 6 публикаций в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ (в том числе 2 из них в международной базе данных ВАК). Общий объем научных изданий 8,6 п.л., из них вклад автора – 7,3 п.л. Получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Недостоверные сведения об опубликованных А.Я. Гильмановым работах в диссертации отсутствуют.

Наиболее значимые публикации:

1. Fedorov K. Comparative Analysis of Different Well Patterns for Steam-Assisted Gravity Drainage / K. Fedorov, A. Gilmanov, A. Shevelev // Society of Petroleum Engineers. – 2018. – Paper №SPE-191494-18RPTC-MS. – 12 p. (*Scopus*)

2. Гильманов А. Я. Математическое моделирование процесса парогравитационного дренажа при добыче высоковязкой нефти / А. Я. Гильманов, К. М. Фёдоров, А. П. Шевелёв // Инженерно-физический журнал. – 2021. – Том 94. – № 3. – С. 611–620; (*Scopus, МРБ из ВАК*)

Gil'manov A. Ya. Mathematical Modeling of the Process of Steam-Assisted Gravity Drainage during the Extraction of High-Viscosity Oil / A. Ya. Gil'manov, K. M. Fedorov, A. P. Shevelev // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2021. – Vol. 94. – № 3. – P. 592–601

3. Гильманов А. Я. Интегральная модель парогравитационного дренажа / А. Я. Гильманов, К. М. Фёдоров, А. П. Шевелёв // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2020. – Том 55. – № 6. – С. 74–84; (*WoS, Scopus, МРБ из ВАК*)

Gil'manov A. Ya. Integral Model of Steam-Assisted Gravity Drainage / A. Ya. Gil'manov, K. M. Fedorov, A. P. Shevelev // Fluid Dynamics. – 2020. – Vol. 55. – № 6. – P. 793–803

4. Гильманов А. Я. Совершенствование интегральной модели парогравитационного дренажа с целью прогноза времени прорыва пара в добывающую скважину / А. Я. Гильманов, К. М. Фёдоров, А. П. Шевелёв // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2020. – Том 6. – № 3 (23). – С. 38–57. (ВАК)

5. Гильманов А. Я. Анализ тепловых полей на первичной стадии процесса парогравитационного дренажа / А. Я. Гильманов, К. М. Фёдоров, А. П. Шевелёв // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2021. – Том 7. – № 2 (26). – С. 27–42. (ВАК)

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2020660010 Российская Федерация. Программа для расчёта технологических показателей парогравитационного дренажа / А. П. Шевелёв, А. Я. Гильманов, К. М. Фёдоров; заявители и правообладатели А. П. Шевелёв, А. Я. Гильманов. – № 2020660010; заявл. 30.07.2020; опубл. 26.08.2020 Бюл. №9. – 1 с.

На автореферат поступили положительные отзывы от:

1. Доктора технических наук, профессора, заведующего кафедры «Прикладная физика» ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет» **Ковалевой Л.А.** с замечанием: из рис.2 автореферата видно, что со временем погрешность в замене геометрии экспериментально полученной паровой камеры рассчитанным треугольным сечением возрастает со временем. Но из автореферата неясно, во-первых, какова эта погрешность, во-вторых, учитывался ли этот факт при длительных расчетах в реальных условиях, т.к., судя по рис.5, расчетное время может составлять более 600 сут.
2. Доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника Института механики им. Р.Р. Мавлютова – обособленного структурного подразделения ФГБНУ УФИЦ РАН **Урманчеева С.Ф.** с замечанием: было бы

целесообразно привести более подробное обоснование выбора соответствующих экспериментов и промысловых данных для верификации модельных представлений автора.

3. Кандидата физико-математических наук, заведующего лабораторией Тюменского отделения «СургутНИПИнефть» ПАО «Сургутнефтегаз» **Вольфа А.А.** с замечаниями:

1. Во втором выводе упоминается модель Эдмундса-Петерсона для описания тепловых потерь из паровой камеры, которая не описана в тексте автореферата.
2. Из текста автореферата не понятно, где на рисунке 2 располагаются нагнетательная и добывающая скважины?
3. Зависимость паронефтяного отношения R_s от безразмерного времени, приведенная на рисунке 3 (сплошная линия), имеет минимум, а затем возрастает. Чем объясняется аналогично рассчитанная «сглаженная» зависимость паронефтяного отношения от времени разработки на примере месторождения Senlac, приведенная на рисунке 4?

4. Доктора технических наук, старшего эксперта ООО «Тюменский нефтяной научный центр» **Степанова С.В.** с замечаниями:

1. На стр.10 говорится о том, что «паровая камера содержит три фазы: нефть, жидкость и пар». Нужно уточнить, о какой жидкости идёт речь. По всей видимости, это – конденсационная вода, совместно с водой, формирующей остаточную водонасыщенность.
2. На стр.11 написано, что «добывается эмульсия нефти и воды...» – из автореферата, в частности, из приведённых на стр.12 уравнений не ясно, каким образом учитывается формирование и движение эмульсии.

5. Кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Тюменского филиала Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН **Косякова В.П.** с замечаниями:

1. Использование исключительно интегрального подхода не позволяет описать эффекты, связанные с перераспределением фаз в пористой среде.

2. Первый пункт научной новизны, на мой взгляд, сформулирован достаточно обще.
3. Из автореферата не ясно, каков механизм интерференции соседних паровых камер.
6. Доктора физико-математических наук, заведующего кафедрой «Теплофизика» МГТУ им. Н.Э. Баумана **Чиркова А.Ю.** с замечанием: видимо, в связи с ограниченностью объема автореферата, не даны пояснения, из каких соображений выбираются (или рассчитываются) коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 в системе уравнений (1)-(8) интегральной модели. Обсуждению величины α_1 всё-таки стоило бы уделить внимание, так как она входит в критический расход (формула (10)) – новый режимный параметр, обоснованный автором, и относящийся к важным результатам работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются специалистами высокого уровня в области теплофизики, механики многофазных систем и подземной гидродинамики, а ведущая организация известна своими достижениями в области теплофизики и математического моделирования, что позволяет им оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана интегральная модель тепломассопереноса при парогравитационном дренаже, детализирующая общий тепловой баланс в элементе разработки;

проведено расчетно-теоретическое исследование теплофизических процессов, протекающих при парогравитационном дренаже месторождений высоковязкой нефти;

предложены:

- интегральная физико-математическая модель парогравитационного дренажа, основанная на законах сохранения массы и энергии в паровой камере и детально учитывающая общий тепловой баланс в ячейке разработки;

- критерий, определяющий формирование термогидродинамической связи между скважинами – критический расход закачиваемого пара;

- условие динамического теплового равновесия на заключительной фазе процесса парогравитационного дренажа;

- алгоритм оптимизации процесса парогравитационного дренажа по критерию коэффициента извлечения нефти.

показана практическая значимость исследования в моделировании процессов тепломассопереноса в пористых средах при использовании технологии парогравитационного дренажа для её оптимизации;

введены основные критерии подобия, определяющие особенности развития теплового поля и технологические параметры добычи нефти.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

предложена интегральная физико-математическая модель парогравитационного дренажа, позволяющая провести анализ тепловых процессов на основных стадиях разработки;

предложен новый определяющий параметр процесса парогравитационного дренажа – критический расход пара, необходимый для формирования тепловой и гидродинамической связи между скважинами;

применительно к проблематике диссертации **результативно использована** явная схема Эйлера для расчетов с использованием численного моделирования;

разработана методика оптимизации развития теплового поля для получения максимального значения коэффициента извлечения нефти;

доказана перспективность применения результатов диссертационного исследования для прогнозирования параметров тепломассопереноса при парогравитационном дренаже путем сравнения экспериментальных и промысловых данных с результатами моделирования;

изложены результаты расчетно-теоретического исследования этапов развития теплового поля при парогравитационном дренаже;

изучены основные стадии процесса парогравитационного дренажа;

показано, что на заключительной стадии процесса парогравитационного дренажа динамика развития теплового поля приводит к наложению соседних паровых камер.

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

создан эффективный метод расчета для задач тепломассопереноса в нефтяном пласте при использовании технологии парогравитационного дренажа;

разработана методика оптимизации развития теплового поля для достижения максимального коэффициента извлечения нефти из месторождения;

определены оптимизированные параметры закачиваемого пара с целью формирования термогидродинамической связи между скважинами;

обоснована возможность использования интегральной модели парогравитационного дренажа для прогнозирования времени стабилизации паровой камеры, динамики коэффициента охвата пласта воздействием, паронефтяного отношения, обводнённости продукции, дебитов нефти и воды;

выполнен расчёт оптимального расстояния между скважинами, при котором происходит максимальный прогрев пласта в элементе разработки, на примере месторождения Fengcheng.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на основе фундаментальных законов теплофизики и механики многофазных систем;

идея исследования базируется на анализе практического опыта моделирования теплофизических процессов и применения технологии парогравитационного дренажа;

использованы апробированные подходы, проверенные при моделировании других тепловых методов увеличения нефтеотдачи;

верифицированы результаты исследования с технологическими показателями разработки месторождений и фундаментальными экспериментами Чанга и Батлера.

Личный вклад автора состоит в разработке интегральной модели парогравитационного дренажа, детально описывающей тепловой баланс в элементе разработки, введении критерия формирования термогидродинамической связи между скважинами, проведении расчётов с использованием разработанной модели, анализе результатов исследования, установлении критерия оптимизации процесса парогравитационного дренажа – максимального коэффициента извлечения нефти, верификации модели.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1) Предполагается, что свойства пористой среды, насыщенной высоковязкой нефтью, пористость, проницаемость, насыщенность постоянны вдоль горизонтального ствола скважины, что в реальной ситуации может не выполняться. Непонятно, как учитывать это при подборе оптимальных параметров для процесса, в диссертации этот вопрос не рассматривается.

2) В работе не выполнено сопоставление результатов расчётов разработанного алгоритма с результатами расчётов гидродинамических симуляторов.

3) Разработанная автором модель не учитывает стадии языкообразования пара вблизи кровли пласта на последних стадиях разработки. Возможно, учёт этой стадии помог бы повысить точность расчётов развития теплового поля в модели.

Соискатель Гильманов А.Я. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1) Интегральный подход предполагает постоянство фильтрационно-емкостных свойств пласта в паровой камере и используется для экспресс-оценок технологических параметров без необходимости большого объёма входных данных, в чём и заключается его достоинство. При этом результаты моделирования верифицированы с использованием экспериментальных и промысловых данных.

2) Действительно, мы не провели сопоставление результатов расчётов разработанного алгоритма с результатами расчётов с использованием коммерческих симуляторов, поскольку не нашли в литературе достаточно подробных данных для создания собственной гидродинамической модели SAGD, а имеющиеся в литературе расчёты с использованием гидродинамических симуляторов также не содержат подробного набора входных данных, поэтому мы верифицировали модель путём сопоставления с экспериментальными и промысловыми данными.

3) Стадия языкообразования пара вблизи кровли пласта не учитывалась в модели, поскольку она не наблюдалась в экспериментах Чанга и Батлера.

На заседании 24.02.2022 диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей значение для развития численного моделирования теплофизических процессов в нефтяной промышленности, протекающих при использовании технологии парогравитационного дренажа, принял решение присудить Гильманову А. Я. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении электронного тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 9 докторов наук по специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, не участвовал в голосовании – 1.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

24.02.2022



Шабаров Александр Борисович

Удовиченко Сергей Юрьевич