

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 26.12.2023 №9

О присуждении Сафаргалиеву Руслану Фаридовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Термодинамические условия устойчивости границы раздела «углеводород-графеновый нанофлюид»» по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 18 октября 2023 года (протокол заседания № 5) 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 Сафаргалиев Руслан Фаридович, 06.12.1993 года рождения, в 2018 году окончил магистратуру по направлению подготовки 16.04.01 «Техническая физика» с отличием, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет». В период подготовки диссертации соискатель Сафаргалиев Руслан Фаридович обучался в очной аспирантуре в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский государственный университет» на кафедре прикладной и технической физики по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика (профиль: Механика жидкости газа и плазмы) с 01.09.2018 по 31.08.2022. Диплом об окончании аспирантуры (серия 107224, № 4674429) выдан 28.06.2022 федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Тюменский государственный университет».

Для сдачи кандидатских экзаменов по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника был прикреплен соискателем ученой степени кандидата наук без освоения программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре к федеральному государственному автономному образовательному учреждению высшего образования «Тюменский государственный университет» (приказ о прикреплении № 216–25 от 14.11.2022, приказ об отчислении № 47-25 от 21.02.2023). Справка о сданных кандидатских экзаменах № 13 выдана 10.04.2023.

В настоящее время соискатель работает в должности ассистента на кафедре физики и приборостроения ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, внешнее совместительство старший преподаватель кафедры прикладной и технической физики ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет». Диссертация выполнена на кафедре прикладной и технической физики ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Пахаруков Юрий Вавилович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной и технической физики Физико-технического института, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет».

Официальные оппоненты: 1) **Федоров Владимир Ефимович** – доктор химических наук, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник лаборатории синтеза кластерных соединений и материалов, ФГБУН «Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук»; 2) **Грешняков Владимир Андреевич** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики конденсированного состояния, ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук» в своем положительном отзыве,

подписанном доктором физико-математических наук, заведующим лаборатории синтеза новых материалов ФГБУН ИТ СО РАН Смовжем **Дмитрием Владимировичем** и утвержденным директором ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук», академиком РАН, профессором, доктором физико-математических наук **Марковичем Дмитрием Марковичем**, указала, что диссертационная работа Сафаргалиева Руслана Фаридовича «Термодинамические условия устойчивости границы раздела «углеводород-графеновый нанофлюид»» 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 – Сафаргалиев Руслан Фаридович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Соискатель имеет 14 работ по теме диссертации, из которых 4 входят в издания из международных баз данных и систем цитирования, и 2 публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ. Общий объем научных изданий 5 п.л., из них вклад автора – 3 п.л. Недостоверные сведения об опубликованных Р. Ф. Сафаргалиевым работах в диссертации отсутствуют.

Наиболее значимые публикации:

1. Safargaliev. R. F. Oil filtration in a porous medium in the presence of graphene nanoparticles / Safargaliev R. F., Pakharukov Yu. V., Shabiev F. K., Grigoriev B. V., I. R. Potochnyuk // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2019. V. 60. №. 1. P. 31–34.; Р.Ф. Сафаргалиев. Фильтрация нефти в пористой среде при наличии наночастиц графена / Сафаргалиев Р.Ф., Пахаруков Ю. В., Шабиев Ф. К., Григорьев Б. В., Поточняк И. Р. // Прикладная механика и техническая физика. 2019. Т. 60 № 1. С. 37–40.
2. Safargaliev. R. F. Oil Displacement from a Porous Medium with the Aid of a Graphite Suspension / Safargaliev R. F., Pakharukov Yu. V., Shabiev F. K. // Technical Physics Letters. 2018. V. 44. P. 130–132. Сафаргалиев Р.Ф. Вытеснение нефти из пористой

среды с использованием графитовой суспензии / Сафаргалиев Р.Ф., Пахаруков Ю. В., Шабиев Ф. К. // Письма в журнал технической физики. 2018. Т. 44. №. 4 С. 3–8.

3. Safargaliev R. F. Formation of a Wave Structure on the Surface of a Graphene Film / Y. V. Pakharukov, F. K. Shabiev, R. F. Safargaliev [et al.] // JETP Letters 2019 Vol. 109 No 9 P. 615-619. – DOI 10.1134/S002136401909011X.; Сафаргалиев Р.Ф. Формирования волновой структуры на поверхности графеновой пленки / Ю. В. Пахаруков, Ф. К. Шабиев, В. В. Мавринский Р.Ф. Сафаргалиев // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики 2019 Т. 109 № 9-10 С. 634-638 DOI 10.1134/S0370274X19090133.

4. Safargaliev R. F. The Use of Nanoparticles to Displace Oil from a Porous Medium/ Safargaliev R. F., Pakharukov Yu. V., Shabiev F. K., Simonov A. S., Ezdin B. S., Zarvin A. E., Kalyada V. V. // Journal of Physics: Conference Series 1683. 2020. A. 022082

5. Сафаргалиев Р. Ф. Использование наночастиц для вытеснения нефти из модели пористой среды. / Сафаргалиев Р. Ф., Пахаруков Ю. В., Шабиев Ф. К., Ездин Б. С., Каляда В. В. // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2020. Т 6. № 4 (24). С. 141–157.

6. Сафаргалиев Р. Ф. Образование наноструктурированной пленки на границе «углеводород — графеновый наночастица» / Сафаргалиев Р. Ф., Пахаруков Ю. В., Шабиев Ф. К., // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2023.Т. 9. № 2 (34). С. 23–38.

7. Патент № 211538 на полезную модель Российская Федерация. Устройство моделирования и визуального контроля фронта взаимодействия вытесняющего агента и нефти в условиях, приближенных к призабойной зоне пласта нагнетательной скважины /: Ю. В. Пахаруков, Ф. К. Шабиев, Р. Ф. Сафаргалиев; заявители и патентообладатели Ю. В. Пахаруков, Ф. К. Шабиев, Р. Ф. Сафаргалиев № 2022100031; заявка. 08.02.2023; дата регистрации 10.06.2022.

На автореферат поступили положительные отзывы от:

- 1) Доктора физико-математических наук, профессора кафедры «Фундаментальной математики» Стерлитамакский филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» **Михайлова П.Н.**, с замечаниями:
 1. В разделе основные результаты и выводы в пункте б написано «... что подтверждается результатами рентгеноструктурного анализа и моделированием методом молекулярной механики...» в тексте автореферата результаты компьютерного моделирования не представлены.
 2. В тексте автореферата не описана методика проведения экспериментов.
- 2) Доктора технических наук, эксперта по методам увеличения нефтеотдачи ООО «Тюменский нефтяной научный центр» **Земцова Ю.В.**, без замечаний.
- 3) Кандидата технических наук, доцента кафедры доцент кафедры "Физики" ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» **Колдина А.В.**, с замечаниями:
 1. В автореферате недостаточно полно представлены результаты моделирования, в частности влияния других факторов, кроме температуры на скорость роста пленки.
 2. Имеются опечатки и грамматические ошибки.
- 4) Кандидата химических наук, научного сотрудника лаборатории структурных методов исследования ФГБУН ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН» **Булавченко О.А.**, с замечаниями:
 1. В тексте автореферата не уточнено какая вода применялась при изготовлении нанофлюида (наножидкости) дистиллированная или пластовая вода.
- 5) Кандидата технических наук, доцента кафедры доцент кафедры "Техника и технологии производства нанопродуктов" ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» **Буракова А.Е.**, с замечаниями:
 1. В автореферате не представлены характеристики частиц графена, из которых были подготовлены наножидкости;
 2. Из каких соображений выбиралась температура, при которой изучалось образование переходной области?

б) Доктора физико-математических наук, директора ФГБУН «Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук»
Матвеева Л.В.

1. При описании роста пленки утверждается, что данный процесс «является фазовым переходом первого рода». При этом плотность графеновых наночастиц в новой фазе (пленке), существенно выше, чем в разбавленном нанофлюиде. Но тогда соответствующие уравнения, описывающие кинетику перехода, должны наряду с теплопереносом учитывать и массоперенос. В автореферате отсутствует упоминание об этом процессе. Почему массоперенос не учитывается в модели роста пленки?
2. В связи с предыдущим замечанием, зависит ли значение управляющего параметра (скорости теплоотвода), определяющего режим роста пленки от концентрации частиц графена в нанофлюиде?
3. На странице 11 автореферата указано, что для верификации результатов, полученных на оригинальной установке, проводились эксперименты по вытеснению нефти нанофлюидами из образцов карбонатных кернов с пористостью 13%. Не совсем понятно, как при такой пористости и размерах цилиндрических кернов в 3 см в диаметре и 3 см высотой объем пор мог достигать $3,976 \text{ см}^3$.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются специалистами высокого уровня в области теплофизики моделирования углеродных нанокластеров, изучения их свойств и синтеза нанофлюидов, 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 усовершенствованная физико-математическая модель роста пленки на границе раздела сред, включающая характерные значения длины

остывания пленки в параллельном и перпендикулярном направлениях к вектору скорости кристаллизации;

проведено расчетно-теоретическое и экспериментальное исследование формирования микрогетерофазного состояния на границе раздела сред;

предложены:

- Новый механизм вытеснения нефти нанофлюидами, в основе которого лежит формирование микрогетерофазного состояния на границе раздела сред, за счет синергетического процесса тепломассопереноса и эффекта саморганизации графеновых наночастиц на границе раздела в результате фазового перехода, приводящего к образованию наноструктурированной кристаллической пленки.
- Управляющий параметр скорости роста пленки на границе раздела «углеводородная жидкость-графеновый нанофлюид» – это конечная скорость теплоотвода от границы раздела сред.
- Усовершенствованная физико-математическая модель роста пленки на границе раздела «углеводородная жидкость-графеновый нанофлюид», которая учитывает адсорбцию углеводородов на графеновых листах и характерные значения длины остывания пленки в параллельном и перпендикулярном направлениях к вектору скорости кристаллизации.

показана практическая значимость применения графеновых нанофлюидов в методах увеличения нефтеотдачи; эффект перегрева границы раздела позволяет управлять как скоростью, так и направлением роста графеновых пленок, что может лечь в основу создания новой технологии нанесения графеновых пленок с управляемой геометрией и структурой.

доказана применимость предложенных функций для описания процесса роста пленки на границе раздела сред;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

предложена усовершенствованная физико-математическая модель роста пленки на границе раздела «углеводородная жидкость-графеновый нанофлюид», позволяющая рассчитать оптимальные параметры нанофлюида для увеличения объема вытесненной нефти;

предложен управляющий параметр формирования пленки и ее структуры – это конечная скорость теплоотвода от границы раздела сред;

разработана методика оценки вытесняющей способности нанофлюидов с визуализацией процесса фильтрации и возможностью управления температурой вытесняемого и вытесняющего агента.

доказана корректность предложенной физико-математической модели путём сравнения экспериментальных данных с результатами компьютерного моделирования;

использован комплексный подход на основе теоретических и численных методик для изучения структуры нанопленки;

изложены результаты расчётно-теоретического исследования, показывающие возможность прогнозирования структуры и скорости роста пленки на границе раздела сред;

раскрыто влияние температуры на скорость роста пленки и ее структуру;

изучены основные режимы роста пленки в зависимости от скорости теплоотвода от границы раздела сред;

показано, что при быстром теплоотводе формируется пленка, имеющая фрактальную размерность, в виде множеств Мандельброта, а не дендритов, при медленном теплоотводе формируется однородная по структуре пленка;

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

разработаны лабораторные установки, по контролируемому росту графеновой пленки и оценке вытесняющей способности нанофлюидов с визуализацией процесса фильтрации в модели капилляра и возможностью управления температурой вытесняемого и вытесняющего агента;

создан и сертифицирован экспресс метод оценки вытесняющей способности нанофлюидов с визуализацией процесса фильтрации и возможностью управления температурой вытесняемого и вытесняющего агента;

представлены основные режимы роста пленки; при быстром теплоотводе формируется пленка, имеющая фрактальную размерность, в виде множеств

Мандельброта, а не дендритов, при медленном теплоотводе формируется однородная по структуре пленка;

обоснована возможность использования физико-математической модели образования наноструктурированной пленки, учитывающей адсорбцию углеводородов на графеновых листах и характерные значения длины остывания пленки в параллельном и перпендикулярном направлениях к вектору скорости кристаллизации для определения параметров нанофлюида (температура, концентрация) для закачки в пласт и увеличения объема вытесненной нефти.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

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

для экспериментальных работ результаты измерения вытесняющей способности синтезированного нанофлюида на оригинальной установке подтверждены, результатами, полученными на сертифицированной установке ПИК-ОФМ/ЭПЗ, предназначенной для исследования фильтрационно-емкостных свойств и электрических свойств керна, с использованием методики, рекомендуемой ОСТ 39-235-89, показана воспроизводимость этих результатов;

идея исследования заключается в создании технологии довытеснения нефти из высокообводенных месторождений с применением графен содержащих нанофлюидов;

использованы апробированные подходы и данные экспериментальных работ отечественных и зарубежных авторов, осуществлено сравнение результатов моделирования с данными из эксперимента;

установлено качественное и количественное согласие результатов численного исследования с данными экспериментальных измерений скорости теплоотвода от границы раздела «углеводородная жидкость-графеновый нанофлюид»;

использованы современные методики обработки исходных данных, полученных с помощью высокоточного измерительного оборудования.

Личный вклад автора состоит в том, что автор разработал устройство моделирования и визуального контроля фронта взаимодействия вытесняющего

агента и нефти в условиях, приближенных к призабойной зоне пласта нагнетательной скважины, подготовил заявку на патент, получил патент № 211538. Разработал и изготовил установку по изучению скорости роста пленки на границе раздела «углеводород графеновый нанофлюид». Проводил измерения обработку и интерпретацию полученных результатов, участвовал в подготовке научных публикаций и представлял устные и стендовые доклады на международных и всероссийских конференциях по тематике диссертационного исследования.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- 1) В работе не приведены доказательства того, что полученный флюид состоит из графена, а не из оксида графена. Графен, в отличие от неокисленного графена, не формирует устойчивых суспензий в воде без применения ПАВ. Технология приготовления и результаты рентгеноструктурного анализа дают основания полагать, что в материале присутствует оксид графена.
- 2) Автор утверждает следующее: «Качество получаемого нанофлюида оценивалось при помощи спектрофотометра КФК 3 по коэффициенту пропускания и оптической плотности в различные промежутки времени после синтеза: 1 час 24 часа 72 часа 168 часов», однако он не приводит никаких данных о качестве (стабильности) полученных суспензий.
- 3) В методике синтеза автор указывает, что наножидкость синтезируется в воде, почему не рассматривается наличие воды в процессе формирования пленки?

Соискатель Сафаргалиев Р.Ф. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

- 1) В процессе синтеза был получен частично окисленный графен, то есть на краях чешуек имеются оксидные группы, это хорошо видно на снимках СЭМ ввиду того, что графен не дает сигнала на изображении в отличие от оксида графена. На снимке АСМ видно наличие включений на краю графеновых листов. Для наших исследований наличие таких дефектов играет положительную роль так как оксид графена является

гидрофильным (на краю листа), а графен гидрофобный, можно сказать синтезируется аналог молекулы ПАВ.

- 2) Согласен, в тексте диссертации не описана методика оценки стабильности полученных суспензий. Стабильность оценивалась по коэффициенту пропускания света и оптической плотности. Если данные параметры не менялись, в пределах погрешности прибора, в описанные промежутки времени то мы делали вывод, что нанофлюид стабилен.
- 3) Взаимодействие с водой не рассматривалось, так молекул воды не было в получаемой пленке, согласно данным ИК спектроскопии.

На заседании 26.12.2023 диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей значение для развития методов увеличения нефтеотдачи, а также методов управления структурой на границе раздела «углеводородная жидкость-графеновый нанофлюид», принял решение присудить Сафаргалиеву Р.Ф. 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 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет.

Председатель
диссертационного совета



Шабаров Александр Борисович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Удовиченко Сергей Юрьевич

26.12.2023