

Вх. №4/26
от 25.05.26

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и
инновационной работе
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Уфимский государственный
нефтяной технический
университет»

« 21 »



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» на диссертационную работу Выдыша Ивана Владимировича «Теплофизические основы применения термогелеобразующих композиций в нефтедобыче», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Актуальность диссертационного исследования

Поддержание пластового давления заводнением влечет за собой проблему быстрого прорыва воды по высокопроницаемым пропласткам и резкому росту обводненности добываемой продукции. Для борьбы с данной проблемой применяют различные физико-химические методы увеличения нефтеотдачи. Принцип действия данных технологий основан на том, что при закачке состава в пласт под действием давления и температуры формируется низкопроницаемый гелевый барьер или выпадает твердый осадок. Последующая закачка воды сопровождается перераспределением фильтрационных потоков из высоко- в низкопроницаемые слои, что приводит к снижению обводненности и повышению коэффициента охвата пласта заводнением.

В настоящее время активно применяют термогелеобразующие композиции, которые в зависимости от определенной температуры формируют низкопроницаемый гелевый барьер. Причем скорость химической реакции при которой формируется гель зависит экспоненциально от температуры. Поэтому прогноз результатов применения таких технологий основан на решении комплексных задач теплофизики и гидродинамики.

Анализ структуры и содержания диссертации

Представленная диссертация И.В. Выдыша состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Полный объем диссертации составляет 115 страниц. Работа содержит 30 рисунков. Список литературы содержит 114 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель работы и поставлены основные задачи исследования, указана научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** рассмотрены основные технологии теплового воздействия на пласты, проанализированы основные механизмы формирования теплового поля в пласте. Показано, что для оценки влияния теплового воздействия на пласт чаще всего применяют аналитическое решение, полученное в приближении Х.А. Ловерье, удобное для инженерных расчетов и не требующее огромных компьютерных мощностей для получения необходимого результата. Подробно описан вывод уравнения притока тепла для многофазной среды с учетом адиабатического и Джоуля-Томсона эффектов для флюидов, подчиняющихся уравнению состояния реальных жидкостей и газов.

Во **второй главе** представлены решения прямых и обратных задач об эволюции тепловых полей в нагнетательной скважине и круговом пласте при закачке жидкости с температурой отличной от пластовой. Показано, что подход к сведению двумерных тепловых задач к квазидвумерным дает возможность с достаточной степенью точности заменять закон Фурье для теплотерь законом Ньютона-Рихмана. Сформулированы безразмерные критерии соотношения скоростей распространения теплового и гидродинамического полей в горизонтальном и вертикальном направлениях. Показано, что допустимо решать термогидродинамическую задачу для которой тепловое поле выравнивается по вертикали мгновенно, а гидродинамические потоки рассчитываются с учетом различной скорости фильтрации в пропластках.

В **третьей главе** разработана физико-математическая модель тепломассопереноса в слоисто-неоднородном пласте при закачке термогелеобразующей композиции с учетом химической реакции гелеобразования, зависящей от температуры. Расчеты по полученному решению показали, что распределение геля в пласте очень «чувствительно» к величине энергии активации химической реакции. При малом изменении энергии активации конфигурация меняется от монотонно убывающей до почти колоколообразной. Механизм немонотонного поведения стационарного распределения объемной концентрации геля обуславливается конкуренцией двух процессов: роста температуры пласта по мере удаления от нагнетательной

скважины и падения концентрации подвижной термогелеобразующей композиции по мере движения оторочки.

Представлен алгоритм расчета динамики основных технологических параметров моделируемого участка с учетом закачки термогелеобразующей композиции в слоисто-неоднородный пласт с целью ограничения водопритока по высокопроницаемым слоям. Проведенные расчеты показали, что формирование геля в высокопроницаемом пропластке приводит к максимальному снижению обводненности добываемой продукции. Так как по условию задачи расход воды в нагнетательную скважину поддерживается постоянным, формирование геля сопровождается ростом репрессии на пласт. При формировании геля в низкопроницаемом пропластке происходит частичное восстановление обводненности. Это отражается в перераспределении потоков воды из высоко- в низкопроницаемый слой, повышением добываемой нефти из низкопроницаемого пропластка и ростом коэффициента охвата пласта заводнением.

В **заключении** кратко сформулированы основные результаты и выводы, полученные в диссертационной работе.

Научная новизна

1. Проанализированы различные подходы к описанию теплопередачи между жидкостью, движущейся в нагнетательной скважине, и окружающими породами. Показано, что коэффициент теплопередачи определяет основные параметры распределения температуры в нагнетательной скважине.
2. Проведена верификация аналитического решения задачи об эволюции теплового поля в приближении Ловерье с расчётами в программном комплексе tНавигатор. На основе сопоставления численного решения термогидродинамической задачи и аналитического решения установлена степенная зависимость коэффициента теплопередачи от времени.
3. Сформулированы и сопоставлены по величине безразмерные критерии, отражающие характерные составляющие гидродинамических и тепловых потоков в латеральном и вертикальном направлениях.
4. Разработана физико-математическая модель тепломассопереноса в слоисто-неоднородном пласте при закачке термогелеобразующей композиции с учётом химической реакции гелеобразования. Установлено, что стационарное распределение объёмного содержания выпавшего геля чувствительно в первую очередь к величине энергии активации химической реакции.

5. Разработан алгоритм интеграции аналитических решений задач о тепломассопереносе оторочки термогелеобразующей композиции в слоисто-неоднородном пласте. На основе расчётов установлено, что локализация и структура формируемых низкопроницаемых гелевых барьеров снижает обводнённость продукции на некотором интервале процесса и влияет на коэффициент извлечения нефти через повышение коэффициента охвата пласта заводнением.

Практическая значимость

Разработанные модели и алгоритмы могут быть основой программных комплексов для прогнозирования процессов применения термогелеобразующих композиций с целью совершенствования процессов заводнения нефтяных пластов, а также для решения задач оптимизации по определению наилучших физико-химических характеристики состава для получения наибольшего эффекта.

Степень достоверности и обоснованности результатов

Обоснованность и достоверность результатов и выводов, сформулированных в диссертации Выдыша И.В. подтверждается соответствием физико-математической модели исследуемых процессов основным положениям теплофизики, термодинамики и теории фильтрации в пористых средах, обоснованным применением выдвинутых допущений, качественным соответствием полученных результатов имеющимся физическим представлениям о характере изучаемых процессов.

Работа прошла апробацию и обсуждалась на 6 всероссийских и международных научно-практических конференциях различного уровня. Результаты проведенных исследований отражены в 7 опубликованных печатных работах, из которых 2 работы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 в изданиях, входящих в международные базы данных, 3 публикации в материалах и тезисах конференций.

Замечания по работе

1. В первой главе описываются различные подходы и математические модели для описания распространения теплового поля в нагнетательной скважине и пласте. Проведен хороший анализ, но не хватило формул или рассматриваемых уравнений теплопроводности для сопоставления различных подходов.
2. В разделе 2.3 сформулированы безразмерные критерии соотношения скоростей фильтрации в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Как анизотропия пласта может влиять на данные критерии и на динамику распространения теплового поля?

3. Рассматривалась ли автором задача определения наилучшего положения низкопроницаемого гелевого барьера в пласте для достижения наибольшего технологического эффекта?
4. Определенный научный и практический интерес представляет сопоставление результатов моделирования при помощи физико-математической модели закачки термогелеобразующей композиции в слоисто-неоднородный пласт с данными промысловых исследований на реальных объектах, однако такое сравнение в представленной работе отсутствует.

Соответствие паспорту специальности

Тематика исследования диссертационной работы, области приложения полученных результатов и общая направленность работы соответствует паспорт специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника (для отрасли науки – физико-математические) по пункту 1. Фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах и пункту 8. Численное и натурное моделирование теплофизических процессов в природе, технике и эксперименте, расчет и проектирование нового теплотехнического оборудования.

Заключение

Диссертационная работа Выдыша Ивана Владимировича на тему «Теплофизические основы применения термогелеобразующих композиций в нефтедобыче» является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертации заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки).

Диссертация Выдыша Ивана Владимировича и отзыв на диссертацию обсуждены на расширенном заседании кафедры физики ФГБОУ ВО «УГНТУ», протокол № 7 от «18» мая 2026 г.

Отзыв подготовили:

Заведующий кафедрой физики
ФГБОУ ВО УГНТУ, д.ф.-м.н.
по специальности 01.02.05 –
механика жидкости, газа и
плазмы, профессор, член-
корреспондент АН РБ



Гималтдинов
Ильяс Кадирович

Доцент кафедры физики
ФГБОУ ВО УГНТУ, к.ф.-м.н.
по специальности 01.02.05 –
механика жидкости, газа и
плазмы



Столповский
Максим
Владимирович

Личные подписи Гималтдинова И.К. и Столповского М.В. заверяю:

Начальник ОРП



О.А. Дадаян

21.05.26.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический
университет» (ФГБОУ ВО «УГНТУ»)

Адрес: 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.

Тел. +7 (347) 242-03-70

E-mail: info@rusoil.net

Сайт: <https://ugntu.ru>