

Вх. N1/26
от 22.05.26

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию работу Выдыша И.В. на тему «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 темы. Тема диссертации является актуальной в связи с тем, что особенностью развития нефтяной промышленности Российской Федерации является широкое применение технологий заводнения нефтяных пластов с самых ранних этапов разработки месторождений. Поддержание пластового давления при помощи заводнения влечет за собой проблему, связанную с ранним прорывом воды в добывающие скважины. Из-за наличия слоистой неоднородности пласта наиболее проницаемые пропластки быстро обводняются, в результате чего значительно повышается обводненность добываемой продукции. Для борьбы с данной проблемой применяют технологии выравнивания профиля приемистости, которые под действием пластовых условий формируют низкопроницаемые барьеры, способствующие перераспределению потоков воды из высоко в низкопроницаемые слои и области пласта. Разработка физико-математических моделей для оперативного прогноза результатов применения таких технологий имеет высокую научную и практическую значимость.

Цель работы, сформулированная соискателем, заключается в создании теплофизических основ эффективного применения термогелеобразующих композиций для снижения обводненности продукции и повышения охвата нефтяного пласта заводнением. Данная цель четко определяет направление исследований и достигается путем последовательного решения пяти сформулированных задач, охватывающих как решение отдельных теплофизических задач, так и общей термогидродинамической задачи в слоисто-неоднородном пласте.

Научная новизна работы сформулирована четко и подтверждается материалами диссертации. К наиболее существенным результатам, определяющим новизну, можно отнести: сформулированные безразмерные критерии, отражающие характерные составляющие гидродинамических и тепловых потоков в латеральном и вертикальном направлениях, а также разработанную физико-математическую модель тепломассопереноса в слоисто-неоднородном пласте при закачке термогелеобразующей композиции с учетом химической реакции гелеобразования, зависящей от температуры.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов и обоснованность выводом обеспечивается 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. Достоверность также подтверждается согласованием результатов численного моделирования, выполненного по авторской модели, с данными, полученными при помощи коммерческого симулятора («ТНавигатор»).

В первой главе диссертационного исследования рассмотрены основные технологии теплового воздействия на пласты, проанализированы основные механизмы формирования теплового поля в пласте такие как конвекция, теплопроводность, потери тепла в выше- или нижележащие слои через кровлю и подошву пласта. Соискатель проанализировал различные физико-математические модели распространения теплового поля в нагнетательной скважине и пласте. Подробно описал вывод уравнения притока тепла для многофазной среды с учетом адиабатического и Джоуля-Томсона эффектов для флюидов, подчиняющихся уравнению состояния реальных жидкостей и газов.

Глава демонстрирует глубокое понимание предметной области и служит основой для разработки собственных моделей и алгоритмов. В выводе главы соискатель отмечает, что большинство физико-математических моделей распространения теплового поля в нагнетательной скважине и пласте решаются только численными методами и только в определенных частных случаях ввиду необходимости большой расчетной мощности, что четко обосновывает его поставленные задачи по созданию упрощенных моделей распространения тепловых полей.

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.

При решении задачи для нагнетательной скважины показано, что подход к сведению двумерных тепловых задач к квазидвумерным дает возможность с достаточной степенью точности заменять закон Фурье для теплопотерь законом Ньютона-Рихмана.

Наиболее ценным результатом главы являются сформулированные безразмерные критерии соотношения скоростей в горизонтальном и вертикальном направлениях. Сравнительные оценки данных критериев показали, что выравнивание температуры в вертикальном сечении происходит гораздо быстрее, чем гидродинамические перетоки между пропластками, что

позволяет сформулировать термогидродинамическую модель, в которой тепловое поле считается однородным по вертикали, а гидродинамическое неоднородным.

Также в качестве сильной стороны работы можно отметить предложенные алгоритмы решения обратной задачи об определении коэффициента теплопередачи жидкости с окружающими пласт породами, основанные на фундаментальных аналитических решениях уравнения теплопроводности и численном решении трехмерной задачи неизотермической фильтрации в коммерческом симуляторе. Было показано, что аналитический алгоритм дает завышенные результаты по сравнению с численным алгоритмом. Поэтому соискатель рекомендует применять численный или комплексный алгоритм определения коэффициента теплопередачи.

В третьей главе посвящена построению упрощенной неизотермической модели фильтрации на случай закачки в слоисто-неоднородный пласт термогелеобразующей композиции с учетом химической реакции гелеобразования, зависящей от температуры. Подробно описаны и обоснованы применяемые допущения. Приведены основные уравнения сохранения массы подвижной композиции и неподвижного геля, импульса в виде закона Дарси, учитывающего изменение скорости фильтрации из-за формирования гелевого барьера и закона Аррениуса, позволяющего смоделировать химическую реакцию поликонденсации, экспоненциально зависящей от температуры. С учетом слоистой неоднородности пласта корректно описаны начальные и граничные условия, позволяющие моделировать дискретное формирование геля из-за различной проводимости пропластков.

Соискатель получил аналитическое решение данной системы уравнений и показал, что формирование 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 водоприток по высокопроницаемым слоям. Результаты работы данного алгоритма показали, что закачка термогелеобразующей композиции в слоисто-неоднородный пласт может заметно снижать обводненность добываемой продукции и повышать коэффициент охвата пласта заводнением, что отражается в итоговом значении коэффициента извлечения нефти, важным для разработки месторождения.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в следующем:

- Результаты исследований могут быть основой программных комплексов для прогнозирования процессов применения термогелеобразующих композиций с целью совершенствования процессов заводнения нефтяных пластов.
- Полученные в результате исследования аналитические решения теплофизических и гидродинамических задач создают возможность решения оптимизационных задач повышения эффективности разработки нефтяных месторождений.

Список литературы состоит из 115 работ, охватывающих как фундаментальные, так и современные исследования в области анализа и моделирования тепломассопереноса в нагнетательной скважине и пласте. При этом в них входит 7 работ соискателя, опубликованных в ведущих отраслевых и академических рецензируемых научных журналах, индексируемых в российских и международных базах данных.

Замечания по диссертации:

1. При продвижении оторочки по хорошо проницаемому пропластку возникают потоки, направленные внутрь плохо проницаемого пропластка, что приводит к проникновению геля в последний и к появлению «шлейфа», ухудшающего связь плохо проницаемого пропластка с хорошо проницаемым. Хотелось бы иметь оценку этого явления.
2. Вызывает сомнение заключение «Это означает, что фильтрация жидкости не должна заметно влиять на распространение тепла, и поле температуры может быть определено независимо от нефтеводонасыщенности», стр. 51. Из этого заключения следует, что гидродинамику считать не надо.
3. В тексте есть ссылка на формулу 2.36, но формулы с таким номером нет.
4. Неудачная подрисуночная подпись к рисунку 2.1. По всей видимости, должно быть «К постановке...», а не «Постановка...».

Заключение. Диссертационная работа Выдыша Ивана Владимировича на тему «Теплофизические основы применения термогелеобразующих композиций в нефтедобыче» соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 года (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Выдыш Иван Владимирович заслуживает присуждения ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки).

Согласен на обработку моих персональных данных, размещение персональных данных и моего отзыва на диссертацию на сайте ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» и в Федеральной информационной системе государственной научной аттестации (ФИС ГНА).

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук по научной специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, профессор, заведующий лабораторией математического моделирования процессов фильтрации Института механики и машиностроения – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»

Никифоров Анатолий
Иванович

« 15 » мая 2026 г.



Институт механики и машиностроения – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»

420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31.

Телефон: +7 (843) 236-52-89, Email: nikiforovimm@mail.ru

Подпись Никифорова Анатолия Ивановича удостоверяю:

