

ОТЗЫВ

официального оппонента д. ф.-м.н., проф. Пышногряя Г. В.
на диссертационную работу Костарева Никиты Александровича
«Численное моделирование процессов тепломассопереноса в нефтяной
скважине с греющим кабелем»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.06 - Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертации. По мере истощения запасов углеводородных полезных ископаемых, возрастает доля трудноизвлекаемой высоковязкой нефти, по объему залежей которой Россия занимает третье место в мире после Канады и Венесуэлы. Характерной особенностью высоковязкой тяжелой нефти является высокое содержание асфальтосмолопарафиновых веществ, что приводит к ряду проблем при извлечении и транспортировке скважинной жидкости связанных с их отложением. Несовершенство методик прогнозирования и борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями (АСПО) часто приводит к расходованию избыточных материальных ресурсов и неэффективному решению данной проблемы. Увеличение доли скважин, осложненных АСПО, требует совершенствования существующих методов борьбы с этим явлением, одним из которых является резистивный нагрев с помощью греющего кабеля.

Диссертационная работа Костарева Н.А. «Численное моделирование процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем» посвящена разработке и численной реализации математической модели явлений тепло и массопереноса в нефтяной скважине, которая позволяет с достаточной точностью прогнозировать возможные участки отложения парафина при добыче нефти и условия для эффективного решения данной проблемы с помощью тепловой депарафинизации греющим кабелем.

Оценка содержания диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 157 наименований. Общий объем работы 103 страницы, в том числе 45 рисунков, 17 таблиц и 2 приложения.

Первая глава содержит анализ состояния проблемы. Рассмотрен механизм и факторы, влияющие на отложение парафина при добыче нефти. Отмечено, что наиболее существенным условием, влияющим на отложение асфальтосмолопарафиновых веществ, является снижение температуры нефтяной жидкости ниже температуры кристаллизации парафина. Рассмотрены существующие математические модели, описывающие теплообмен нефтяной жидкости с породами, окружающими скважину. Основная часть моделей представлена в одномерной или двумерной постановках, решение для которых получено аналитически с использованием данных натуральных экспериментов, что выражается в ограниченной применимости и точности.

Вторая глава посвящена описанию математической модели процессов теплопереноса в нефтяной скважине. Автором предложена осесимметричная математическая модель стационарных процессов течения и теплопереноса в нефтяной скважине, учитывающая многослойность конструкции скважины и окружающее пространство. Численная реализация модели была получена методом конечных объемов в программном пакете Ansys Fluent. Приведены результаты исследования сходимости численного решения и адекватности математической модели путем сравнения с методиками и математическими моделями, предложенными другими авторами.

В третьей главе приведены результаты численных исследований влияния реологических, технологических и теплофизических характеристик на температурное состояние нефтяной скважины и глубину участка подверженного парафиновым отложениям. Показано, что наибольшее

влияние на температуру в нефтяной скважине оказывают технологические параметры добычи.

Четвертая глава содержит результаты исследования процессов теплопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем. Предложена пространственная нестационарная математическая модель с учетом работы нагревательного кабеля. Оценено влияние параметров добычи на эффективность тепловой депарафинизации скважин греющим кабелем. Определены удельная мощность и интенсивность нагрева для предотвращения АСПО на стенках глубинно-насосного оборудования при заданных параметрах добычи. Предложены рациональные периодические режимы работы греющего кабеля, полученные в результате численной реализации математической модели для скважин Дороховского месторождения, позволяющие решить проблему АСПО с минимальным энергопотреблением.

Научная новизна диссертационной работы.

1. Построена математическая модель процессов теплопереноса в нефтяной скважине с учетом многослойности конструкции скважины и окружающего пространства, представляющая собой систему дифференциальных уравнений в частных производных.

2. Впервые построена нестационарная математическая модель процессов теплопереноса в нефтяной скважине при наличии греющего кабеля.

3. На основе численного эксперимента проведен анализ влияния гипотез и параметров математической модели процессов теплопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем на результаты решения.

4. Изучено влияние реологических, теплофизических и геологических факторов на результаты расчетов температурного поля нефтяной скважины.

5. Выявлены закономерности влияния технологических параметров процессов добычи и режима нагрева греющим кабелем на эффективность тепловой депарафинизации.

6. Предложены рациональные режимы работы греющего кабеля, позволяющие сократить энергозатраты и обеспечить заданный режим работы скважины (без АСПО).

Степень достоверности результатов диссертационного исследования.

Достоверность результатов математического моделирования обеспечивается хорошей согласованностью с результатами экспериментальных исследований, решений, полученных другими авторами и сходимостью по сетке приближенного численного решения к точному.

Значимость диссертационной работы для науки и практики. Результаты, представленные в работе, могут быть полезны при разработке и эксплуатации нефтегазовых скважин, осложненных асфальтосмолопарафиновыми отложениями. Применение разработанной математической модели позволяет оценить эффективность тепловой депарафинизации скважин греющим кабелем на этапе разработки месторождения и сделать выводы об эффективности данного метода борьбы с парафиновыми отложениями. Для эксплуатационных нефтяных скважин реализация предложенной в работе математической модели позволит подобрать рациональные режимы нагрева, эффективно использовать оборудование и снизить капитальные затраты на электроэнергию и ремонт глубинно-насосного оборудования.

Публикации. Выносимые на защиту положения и результаты с достаточной полнотой отражены в 15 печатных работах, включая 9 статей в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (в том числе 6 – в изданиях, рекомендованных ВАК, 3 – в изданиях, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus).

Вопросы и замечания.

1. Как видно из формул (2.6) или (4.8), приведенных в тексте диссертации, зависимость эффективной вязкости от температуры описана

Аррениусовской зависимостью, хотя можно было бы использовать и экспоненциальный закон. Во всяком случае, следовало бы обсудить этот вопрос в диссертации.

2. Хотя достоинством диссертации и является реализованная автором в пакете FLUENT вычислительная методика, но для доказательства ее эффективности можно было бы сравнить полученные результаты с расчетами, выполненными в других вычислительных пакетах.

3. Вычислительные методики, используемые в диссертации, построены только для двумерных каналов, для которых можно построить ортогональную разностную сетку в декартовой или цилиндрической системах координат. При этом известно, что механика трехмерных потоков существенно отличается от двумерной.

4. Из множества существующих реологических моделей выбрана лишь модель с вязкопластичным законом поведения. Эта модель предсказывает бесконечную вязкость при нулевой скорости сдвига. Вместе с тем ряд материалов, например, полимерные жидкости, демонстрирует существенное отличие от такого поведения в гидродинамической структуре своих течений.

Заключение.

Диссертация Костарева Никиты Александровича «Численное моделирование процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи предотвращения асфальтосмолопарафиновых отложений при добыче нефти путем тепловой депарафинизации греющим кабелем, имеющей важное значение для нефтегазовой отрасли при разработке и эксплуатации месторождений.

Работа выполнена на высоком научном и техническом уровне с использованием современных средств и методик, а основные выводы обоснованы и подтверждены результатами внедрения.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Костарев Никита Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник научного управления АлтГТУ,
ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

— Г. В. Пышнограев

«03» декабря 2021 года

Докторская диссертация защищена по специальности 01.04.14 – Теплофизика
и теоретическая теплотехника

Подпись Пышнограев Григория Владимировича удостоверяю

Ученый секретарь ученого совета АлтГТУ



— Т. А. Головина

Сведения об организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Сибирский федеральный округ, Алтайский край, г. Барнаул, проспект Ленина, д. 46, телефон: (3852) 290710, факс: (3852) 367864, e-mail: altgtu@list.ru, сайт: www.asltsu.ru

