



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
Пермского национального
исследовательского политехнического
университета,
доктор технических наук, профессор
Коротаев Владимир Николаевич

«20» сентября 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Диссертация «Численное моделирование процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем» выполнена на кафедре «Конструирование и технологии в электротехнике».

В период подготовки диссертации соискатель Костарев Никита Александрович обучался в очной аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», работал на кафедре «Конструирование и технологии в электротехнике» в должности ассистента.

В 2017 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по направлению ««Электроэнергетика и электротехника»».

В 2021 году окончил аспирантуру очной формы обучения в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования Пермского национального исследовательского политехнического университета по научной специальности 27.06.01 «Управление в технических системах» (период обучения 01.07.2017–30.06.2021).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Труфанова Наталия Михайловна, работает заведующей кафедрой «Конструирование и технологии в электротехнике» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Пермского национального исследовательского политехнического университета.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

- Соискатель рассмотрел и проанализировал современное состояние проблемы асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) при добыче нефти. Составил подробный обзор факторов, влияющих на процесс отложения парафина и методов борьбы с этим явлением. Выполнил обзор математических моделей процессов течения и теплопереноса в нефтяных скважинах. Отметил основные недостатки существующих математических моделей, их ограниченную применимость и точность. Определил проблемы, связанные с недостатком существующих математических моделей прогнозирования теплового состояния скважины, при прогнозировании длины участка подверженному отложению парафина и условий борьбы с этим явлением.

- Соискатель разработал две пространственные модели, описывающие процессы теплопереноса в нефтяной скважине в стационарной и нестационарной постановке, позволяющие учесть наличие греющего кабеля в скважине, особенности режима его работы, многослойность конструкции скважины и массива горных пород. Предложенные модели позволяют учесть технологические условия добычи нефти и их влияние на отложение парафина.

- Автор выполнил моделирование процессов теплопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем и без, в нестационарной и стационарной постановке, в ходе которых были изучены закономерности температурного состояния скважины от технологических, теплофизических и реологических характеристик добычи, оценено влияние упрощающих предположений на результаты расчетов. Установлено, что в скважинах, осложнённых АСПО наблюдается ламинарный режим течения нефтяной жидкости, а наибольшее влияние на температурное состояние скважины оказывают технологические параметры добычи (дебит, динамический уровень).

- Соискатель выполнил численные исследования процессов течения нефти по колоннам лифтовых труб и теплопереноса с учетом многослойности конструкции и наличия греющего кабеля, в ходе которых определены параметры пространственно-временной дискретизации рабочей области и влияние решающей схемы дифференциальных уравнений на скорость сходимости решения и требования к вычислительным ресурсам. Были предложены режимы работы греющего кабеля в позволяющие сократить материальные затраты на электроэнергию и борьбу с АСПО. Данные режимы получили промышленное внедрение и по настоящий день используются на реальных скважинах Дороховского месторождения.

- Соискатель подготовил научные публикации по теме диссертации, выступил с докладами на международных и всероссийских конференциях, представил работу на научных семинарах, выполнял исследования по 3 научно-исследовательским проектам (2 гранта РФФИ и 1 гранте Правительства Пермского края).

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- Построена пространственная математическая модель процессов теплопереноса в нефтяной скважине с учетом многослойности конструкции скважины и окружающего пространства.

- Впервые построена нестационарная пространственная математическая модель процессов теплопереноса в нефтяной скважине с учетом греющего кабеля.

- Проведен анализ принятых при постановке задачи гипотез и параметров численной реализации математической модели процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем на результаты решения.

- Определено влияние реологических, теплофизических и геологических факторов на результаты расчетов температурного поля нефтяной скважины.

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

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

3. Достоверность результатов проведенных исследований подтверждается хорошим соответствием с результатами экспериментальных исследований и решений, полученными с помощью других методов. Математическая модель обладает сходимостью по сетке приближенного численного решения к точному.

4. Практическая значимость исследования состоит в том, что результаты, представленные в работе, могут быть полезны при 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. Использование математической модели позволяет подобрать рациональные режимы нагрева, эффективно использовать оборудование и снизить капитальные затраты на электроэнергию и ремонт оборудования нефтяной скважины.

5. Ценность научных работ соискателя и полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертационной работы Костарева Н.А. опубликовано 15 научных работ, в том числе 6 в ведущих рецензируемых изданиях, 3 – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и/или Scopus. Основные положения и результаты работы отражены в следующих научных публикациях в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, и/или в базы цитирования Web of Science, Scopus:

1. **Kostarev N. A.**, Trufanova N. M. Control of the Thermal Processes in an Oil Well with a Heating Cable // Russian Electrical Engineering. - 2017. - Vol. 88, № 11. - P. 755-759. [**Scopus**]

2. **Kostarev, N. A.** Simulation and automation of thermal processes in oil well / N. A. Kostarev, N. M. Trufanova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering - 2018. - Vol. 327- 6 p [**Web of Science, Scopus**]

3. **Kostarev N.A.**, Trufanova N.M. Modeling and Control of the Temperature Field of Oil Well Equipped with a Heating Cable. In: Radionov A.A., Gasiyarov V.R. (eds) Advances in Automation II. RusAutoConf 2020. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 729. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71119-1_27 (**Scopus**)

В данных работах предложена пространственная математическая модель нестационарных процессов теплопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем. Приведены результаты численных исследований влияния режима работы греющего кабеля на температурное состояние нефтяной скважины.

4. **Костарев, Н. А.** Управление работой греющего кабеля на основе математической модели процессов теплопереноса в нефтяной скважине / Н. А. Костарев, Н. М. Труфанова // Прикладная математика и вопросы управления. – 2021. – № 2. – С. 115-132 [ВАК]

В данной работе представлен алгоритм управления работой греющего кабеля при тепловой депарафинизации нефтяных скважин, основанный на численном моделировании нестационарных процессов теплопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем. Оценена эффективность периодического режима нагрева скважины для решения проблемы асфальтосмолопарафиновых отложений при добыче нефти

5. Пинягин, Д. С. Численное исследование тепловых процессов в скважине с призабойным нагревателем / Д. С. Пинягин, **Н. А. Костарев**, Н. М. Труфанова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2020. – № 36. – С. 48-62 [ВАК]

6. Пинягин Д. С., **Костарев Н. А.**, Труфанова Н. М. Анализ процессов теплопереноса в нефтяной скважине при использовании призабойных нагревателей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления - 2019. - № 30. - С. 211-226. [ВАК]

В данных предложена математическая модель течения и теплопереноса в призабойной зоне скважины с электронагревателем. Представлены результаты численных исследований влияния распределения температуры и вязкости нефти при различных длинах и мощности электронагревателя. Оценено влияние призабойного нагревателя на работу электроцентробежного насоса для скважин с высоковязкой нефтью.

7. Труфанова, Н. М. Исследование влияния величины дебита и температуры забоя на температурное поле скважины / Н. М. Труфанова, А. В. Козьминых, **Н. А. Костарев** // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – № 4. – С. 205-207 [ВАК]

В работе представлены результаты влияния технологических параметров добычи на температурное состояние скважины, полученные путем численной реализации пространственной математической модели процессов теплопереноса в нефтяной скважине в стационарной постановке.

В данной работе соискателем представлены результаты численных исследований влияния технологических параметров на

8. **Костарев Н. А.**, Труфанова Н. М. Исследование процессов теплопереноса нефти в скважине с учетом отложения парафина на стенках насосно-компрессорной трубы // Научно-технический вестник Поволжья - 2017. - № 3. - С. 111-114 [ВАК]

9. Труфанова, Н. М. Исследование процессов тепломассопереноса нефти в вертикальной скважине с учетом влияния греющего кабеля / Труфанова Н. М., **Костарев Н. А.** // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 4. – С. 108-111 [ВАК]

В работах предложена математическая модель процессов течения и теплопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем с учетом механизма осаждения асфальтосмолопарафиновых отложений на внутренней поверхности насосно-компрессорных труб. Представлены результаты численных исследований влияния греющего кабеля и технологических параметров на глубину и интенсивность парафиновых отложений при добыче нефти

Программа ЭВМ

10. Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ № 2021616832 от 27.04.2021. «Программа расчета рациональных режимов управления работой греющего кабеля для эффективного нагрева нефтяных скважин». / **Н. А. Костарев.** Заявка № 2021615874; поступл. 18.04.2021.

В данной работе представлен алгоритм, позволяющий в автоматическом режиме подобрать экономически эффективное оборудование и режим его работы для тепловой депарафинизации нефтяных скважин по заданной длине греющего кабеля и удельной мощности

Прочие полнотекстовые публикации

11. Н. М. Труфанова Анализ эффективности тепловой обработки нефтяной скважины при различных расходах и типах теплоносителя / Н. М. Труфанова, **Н. А. Костарев**, А. А. Рыков, Л. И. Зорихина // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика: материалы XI Междунар. интернет-конф. молодых ученых, аспирантов, студентов – Пермь : 2020. – С. 221-225.

12. **Н. А. Костарев**, Н. М. Труфанова Моделирование процесса тепломассопереноса при промывке нефтяной скважины оборудованной глубинным насосом с полыми штангами / Н. А. Костарев, Н. М. Труфанова // Тез. докл. XXI Зимней школы по механике сплошных сред / ИМСС УрО РАН [и др.]. – Пермь : Новопринт, 2019. – С. 158.

В данных работах предложена математическая модель процессов турбулентного тепломассопереноса в нефтяной скважине при промывке горячим теплоносителем через полые штанги. Представлены результаты численных исследований влияния расхода и температуры теплоносителя на распределение температуры внутри нефтяной скважины

13. **Костарев, Н. А.** Управление температурным полем нефтяной скважины, оборудованной греющим кабелем, при периодическом режиме нагрева. / Н. А. Костарев, Н. М. Труфанова // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2018. – Т. 1. – С. 161-167.

В данной работе представлены зависимости температуры в нефтяной скважине от режима работы греющего кабеля. Приведены сравнения постоянного и периодического режимов нагрева нефтяной скважины греющим кабелем, полученные путем численной реализации математической модели нестационарного переноса в нефтяной скважине с греющим кабелем.

14. **Н. А. Костарев** Разработка системы эффективного нагрева нефтяной скважины греющим кабелем, основанной на численном моделировании процессов тепломассопереноса // *Материалы регионального конкурса инновационных проектов по программе УМНИК – 2018 : тез. выступлений* - Пермь. - С. 69-71.

15. **Н. А. Костарев** Исследование процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с учетом процесса парафинообразования / Н. А. Костарев, Н. М. Труфанова // *Автоматизированные системы управления и информационные технологии : материалы все-рос. науч.-техн. конф. (г. Пермь, 23 мая 2017 г.) : в 2 т. Т. 2 .* - Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2017. - С. 136-142.

В работах представлены тезисы выступлений на конференциях. Приведены обобщенные результаты, полученные в ранее описанных работах.

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите

Представленная Костаревым Никитой Александровичем диссертационная работа является прикладным исследованием нестационарных процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем, с учетом технологических, теплофизических, реологических характеристик скважины, многослойности ее конструкции, позволяющая определить технологические параметры и режим работы греющего кабеля для эффективного решения проблемы асфальтосмолопарафиновых отложений при добыче нефти. Область диссертационного исследования включает: развитие теоретических основ переработки полимеров; применение методов теории тепломассопереноса для разработки пространственной математической модели, описывающей процессы течения и теплообмена аномально-вязких полимерных материалов в каналах формирующего инструмента; применение численных методов для реализации разработанной математической модели;

Указанная область исследования соответствует формуле специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, в части применения математического моделирования, численных методов и комплексов программ для решения научных, фундаментальных и прикладных проблем, а также следующим пунктам исследования из паспорта специальности 05.13.18: 4 – реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента, 5 – комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента, 8 – разработка систем компьютерного и имитационного моделирования.

7. Соответствие диссертации требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней

В диссертационной работе отсутствуют заимствования материалов без ссылки на автора или источник заимствования. Автор диссертации корректно ссылается на результаты научных работ, выполненных им лично и в соавторстве.

Диссертация «Численное моделирование процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем» Костарева Никиты Александровича

рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Присутствовало на заседании 17 чел. Результаты голосования: «за» – 17 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 2 от «24» сентября 2021 г.

Заместитель заведующего кафедрой
«Конструирование и технологии в
электротехнике» ФГАОУ ВО «ПНИПУ»,
канд. техн. наук, доцент



Киселев Валерий Васильевич

Секретарь кафедры
«Конструирование и технологии в
электротехнике» ФГАОУ ВО «ПНИПУ»



Костыгова Татьяна Васильевна