

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.01.09
по диссертации Костарева Никиты Александровича
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Диссертация «Численное моделирование процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем» по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 26 октября 2021 года (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д ПНИПУ.01.09, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета № 24-О от 03.03.2020 г. в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым – четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. № 1792-р.

Диссертация выполнена на кафедре «Конструирование и технологии в электротехнике» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Труфанова Наталия Михайловна, заведующая кафедрой «Конструирование и технологии в электротехнике» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Официальные оппоненты:

1. Скульский Олег Иванович – доктор технических наук (специальность 05.04.09 – Машины и агрегаты нефтеперерабатывающих и химических производств), старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории «Вычислительной гидродинамики» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского

отделения Российской академии наук «Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук».

2. Пышнограй Григорий Владимирович – доктор физико-математических наук (специальность 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника), профессор, ведущий научный сотрудник научного управления АлтГТУ Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (г. Пермь); отзыв ведущей организации утвержден проректором по научной работе и инновациям, доктором географических наук, профессором Паньковым Сергеем Васильевичем, заслушан на заседании кафедры прикладной математики и информатики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» и подписан заведующим кафедрой прикладной математики и информатики ФГАУ ВО ПГНИУ, доктором физико-математических наук, профессором Русаковым Сергеем Владимировичем и Ученым секретарем Ученого совета ПГНИУ Антроповой Еленой Петровной.

По теме диссертации соискателем опубликовано 15 научных трудов, в том числе 9 работ – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени, из них 3 работы – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования (Web of Science, Scopus), соискателем получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. В тексте диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Наиболее значимые публикации по теме диссертации:

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) (5 стр./3 стр.)

В статье представлена разработанная соискателем (совместно с научным руководителем) двухмерная математическая модель и результаты численного анализа процессов теплопереноса в нефтяной скважине. Соискателем получены поля температуры, скоростей течения в нефтяной скважине, а также толщины парафиновых отложений на стенках насосно-компрессорных труб по глубине

рассматриваемой области. В работе даны рекомендации по выбору мощности и времени нагрева скважины для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) с глубинно-насосного оборудования.

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) (6 стр./4 стр.)

В статье рассматривается нестационарный тепломассоперенос в нефтяной скважине в плоской постановке. Соискателем получены результаты численного исследования процесса обогрева нефтяной скважины с различной мощностью и временем нагрева. На основании полученных температурных полей разработаны периодические режимы работы греющего кабеля, позволяющие снизить суточное энергопотребление оборудования при тепловой депарафинизации нефтяной скважины.

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) (10 стр./7 стр.)

В работе соискателем (совместно с научным руководителем) разработана пространственная математическая модель для описания нестационарных процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем в осесимметричной постановке. Получены 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 тепломассопереноса в нефтяной скважине / Н. А. Костарев, Н. М. Труфанова // Прикладная математика и вопросы управления. – 2021. – № 2. – С. 115-132 (ВАК) (16 стр./13 стр.)

В работе показаны основные недостатки существующих термоэлектрических установок нагрева скважин, заключающиеся в несоответствии расчетной и реальной температуры токопроводящих жил греющего кабеля. Соискателем (совместно с научным руководителем) предложен алгоритм управления работой греющего кабеля при тепловой депарафинизации нефтяных скважин, основанный на численном моделировании нестационарных процессов тепломассопереноса в скважине с греющим кабелем. Оценена экономическая эффективность предложенного алгоритма нагрева для решения проблемы образования АСПО 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) (15 стр./7 стр.)

В работе соискателем (совместно с авторами) предложена математическая модель для описания 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. Соискателем оценено влияние призабойного нагревателя на работу электроцентробежного насоса для скважин с высоковязкой нефтью.

6. **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) (4 стр./2 стр.)

Соискателем (совместно с научным руководителем) разработана математическая модель для описания процессов стационарного течения и теплопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем с учетом механизма осаждения асфальтосмолопарафиновых отложений на внутренней поверхности насосно-компрессорных труб. В работе получены результаты численных исследований влияния греющего кабеля и технологических параметров на глубину и интенсивность парафиновых отложений при добыче нефти.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **предложена** оригинальная пространственная математическая модель для описания процессов нестационарного теплопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем, позволяющая определить рациональные режимы нагрева для конкретных условий эксплуатации;

– **предложены** эффективные алгоритмы численной реализации разработанной математической модели и пространственно-временные параметры дискретизации расчетной области модели, обеспечивающие приемлемую точность и сходимость решения;

– на основе численных экспериментов **получены** закономерности влияния технологических параметров эксплуатации нефтяной скважины, а также реологических

и теплофизических свойств среды на длину участка подверженного парафиновым отложениям и эффективность тепловой депарафинизации греющим кабелем;

– **предложены** режимы циклической работы греющего кабеля, полученные на основе численной реализации математической модели и позволяющие сократить потребление электроэнергии при борьбе с асфальтосмолопарафиновыми отложениями.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– **разработана** новая математическая модель для описания процессов тепломассопереноса в вертикальной нефтяной скважине с учетом окружающего пространства и многослойности конструкции;

– применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** численные методы моделирования, позволившие получить количественные и качественные результаты исследования процесса тепломассопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем при тепловой депарафинизации;

– **исследованы** процессы течения и теплообмена в нефтяных скважинах с различными характеристиками и их влияние на глубину начала парафиновых отложений, а также условия предотвращения этого явления.

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

– **разработана** программа для ЭВМ, позволяющая на основе результатов численной реализации математической модели процессов тепломассопереноса определить состав, характеристики и электрические параметры оборудования для тепловой депарафинизации нефтегазовой скважины (получено свидетельство об интеллектуальной собственности на программу для ЭВМ);

– определенные в результате численной реализации математической модели рациональные режимы работы греющего кабеля нашли **промышленное применение** на двух действующих скважинах Дороховского месторождения ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» (г. Чернушка).

Результаты диссертационного исследования также **могут быть использованы** нефтедобывающими компаниями и организациями, занимающимися производством оборудования для прогрева нефтяных скважин при анализе и разработке мероприятий, направленных на эффективное решение проблемы асфальтосмолопарафиновых отложений при добыче нефти с помощью греющего кабеля (ПАО «ЛУКОЙЛ», ПАО «НК «РОСНЕФТЬ», ПАО «Газпром нефть», ООО «НПО «ПермНефтеГаз»).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- обоснованность результатов диссертационной работы определяется корректностью постановки задачи и численной реализации;
- удовлетворительное соответствие результатов, полученных с использованием предлагаемой модели, с экспериментальными данными с действующих нефтяных скважин и с частными результатами, полученными другими авторами;
- процедура численной реализации математической модели демонстрирует сеточную сходимости и устойчивость;
- сформулированные основные выводы хорошо согласуются с рядом известных частных результатов.

Личный вклад соискателя состоит в составлении обзора и проведении анализа современного состояния проблемы асфальтосмолопарафиновых отложений и существующих математических моделей процессов течения и теплопереноса в нефтяных скважинах; разработке двух пространственных математических моделей, описывающих процессы теплопереноса в нефтяной скважине в стационарной и нестационарной постановке, позволяющие учесть влияние греющего кабеля на эксплуатационные характеристики скважины, особенности режима его работы, многослойность конструкции скважины и массива горных пород; выполнении численных расчетов и анализе полученных результатов исследования температурного состояния нефтяной скважины с различными эксплуатационными характеристиками; подготовке совместно с научным руководителем публикаций по выполненной работе, участии в апробации результатов исследования; разработке рекомендаций по выбору рациональных технологических режимов тепловой депарафинизации нефтяных скважин греющим кабелем.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 11.09.2021), и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 09 декабря 2021 г. № 4334-В: в ней содержится решение задачи математического моделирования процессов теплопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем, позволяющей определить участок, подверженный парафиновым отложениям, а также энергоэффективные режимы работы оборудования при тепловой депарафинизации

греющим кабелем, которая имеет важное значение для нефтегазовой отрасли при разработке и эксплуатации месторождений осложненных асфальтосмолопарафиновыми отложениями.

На заседании 28 декабря 2021 года диссертационный совет Д ПНИПУ.01.09 принял решение присудить Костареву Никите Александровичу ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 3).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 5 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение учёной степени – 13, против присуждения учёной степени – 0, не участвовавших в голосовании – 0.

Председатель диссертационного совета Д ПНИПУ.01.09,

д-р физ.-мат. наук, профессор _____

/Трусов Петр Валентинович/

Ученый секретарь диссертационного совета Д ПНИПУ.01.09,

д-р физ.-мат. наук _____

/Швейкин Алексей Игоревич/

«29» декабря 2021

