ISSN 2712-8008
Том / Volume 25 №4 2025
Домашняя страница журнала: https://ered.pstu.ru/index.php/geo
НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 622.276.72.05
Статья / Article
© ПНИПУ / PNRPU, 2025

Электродный нагреватель на кабеле для восстановления проходного сечения насосно-компрессорных труб в скважинах

Д.И. Киргизов, Э.Р. Асадуллин

Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина (Российская Федерация, 423462, г. Альметьевск, ул. Советская, 186а)

Electrode Heater on a Cable for Restoring the Flow Cross-Section of Tubing in Wells

Dmitrii I. Kirgizov, Eldar R. Asadullin

TatNIPIneft R&D Institute of the PJSC TATNEFT named after V.D. Shashin (32 Jalila st., Bugulma, 423241, Russian Federation)

Получена / Received: 02.06.2025. Принята / Accepted: 31.10.2025. Опубликована / Published: 21.11.2025

Ключевые слова:
электрохимический нагрев, депарафинизация, оптимизация проходимости насосно-компрессорных труб, удаление отложений, повышение эффективности добычи.

В рамках проведенного исследования разработан новый метод восстановления пропускной способности насосно-компрессорных труб (НКТ) в нефтяных и газовых скважинах, основанный на использовании специализированного оборудования для электрохимического нагрева. Данный прибор представляет собой скважинный снаряд диаметром 30 мм, оснащенный специальными сменными лезвиями и скребками, расположенными в нижней части устройства. Спуск прибора осуществляется посредством геофизического кабеля, что обеспечивает возможность эффективного нагрева и удаления отложений со стенок труб, способствуя увеличению проходного сечения НКТ. Принцип работы устройства заключается в передаче тепловой энергии от нагретого электролита, находящегося внутри прибора, к нижнему скребку. Благодаря этому процессу удается эффективно очищать внутреннюю поверхность труб от различных типов загрязнений и осадков. В ходе выполнения проекта создана полная конструкторская документация, на основе которой впоследствии изготовлен опытный образец скважинного прибора и наземного источника питания. Кроме того, проведены обширные исследования по выбору оптимального состава и концентрации электролита, а также определению наиболее подходящего материала электрода для обеспечения максимальной эффективности процесса очистки.
Подробно описаны проведенные эксперименты, направленные на определение идеальных параметров для достижения наилучших результатов при очистке внутренних поверхностей НКТ. Также представлена схема наземного регулируемого источника питания, обеспечивающего стабильную работу скважинного прибора, и детальная конструкция нижней части устройства. Полученные научные результаты нашли отражение в патенте на изобретение № 2821484, что подтверждает уникальность предложенных технических решений и их высокую практическую ценность. Таким образом, разработанные метод и оборудование позволяют значительно повысить эффективность эксплуатации нефтегазовых скважин за счет улучшения пропускной способности НКТ, что способствует снижению затрат на обслуживание и увеличение производительности добычи углеводородов.

Keywords:
electrochemical heating, dewaxing, optimization of tubing flow, deposit removal, increased production efficiency.

As part of the study, a new method for restoring the throughput of oil and gas well tubing was developed. This method utilizes specialized electrochemical heating equipment. This device is a 30 mm diameter downhole tool equipped with special replaceable blades and scrapers located at the bottom of the device. The tool is lowered via a geophysical cable, enabling effective heating and removal of deposits from the tubing walls, thereby increasing the tubing throughput. The device operates by transferring thermal energy from a heated electrolyte located within the tool to a lower scraper. This process effectively cleans the inner surface of the tubing of various types of contaminants and sediments. During the project, comprehensive design documentation was created, which was subsequently used to manufacture a prototype downhole tool and surface power source. Furthermore, extensive research was conducted to select the optimal electrolyte composition and concentration, as well as to determine the most suitable electrode material to ensure maximum efficiency of the cleaning process.
The experiments conducted to determine the ideal parameters for achieving the best results in cleaning the internal surfaces of tubing are described in detail. A schematic of the surface-based adjustable power source, ensuring stable operation of the downhole tool, and a detailed design of the lower section of the device are also presented. The obtained scientific results are reflected in patent No. 2821484, confirming the uniqueness of the proposed technical solutions and their high practical value. Thus, the developed method and equipment significantly improve the operating efficiency of oil and gas wells by improving the throughput of the tubing, which helps reduce maintenance costs and increase hydrocarbon production productivity.

Киргизов Дмитрий Иванович – кандидат технических наук, начальник отдела геофизических исследований скважин и технологий в закрытом стволе (e-mail: kirgizov-di@tatnipi.ru, тел.: +007 (855) 947 88 84).
Асадуллин Эльдар Рифович – заместитель директора по инновациям и научно-производственной работе в области геофизических исследований скважин (e-mail: AsadullinEhldarR@tatnipi.ru, тел.: +007 (855) 947 85 09).

Dmitrii I. Kirgizov (Author ID in Scopus: 55649816700) – PhD in Engineering, Head of the Department of Well Geophysical Research and Closed Wellbore Technologies (tel.: +7 (855) 947 88 84, e-mail: kirgizov-di@tatnipi.ru). The contact person for correspondence.
Eldar R. Asadullin (Author ID in Scopus: 59345931900) – Deputy Director for Innovation and Research and Production in the Field of Well Geophysical Research (tel.: +7 (855) 947 85 09, e-mail: AsadullinEhldarR@tatnipi.ru).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:
Киргизов, Д.И. Электродный нагреватель на кабеле для восстановления проходного сечения насосно-компрессорных труб в скважинах / Д.И. Киргизов, Э.Р. Асадуллин // Недропользование. – 2025. – Т.25, №4. – С. 398–402. DOI: 10.15593/2712-8008/2025.4.15

Please cite this article in English as:
Kirgizov D.I., Asadullin E.R. Electrode Heater on a Cable for Restoring the Flow Cross-Section of Tubing in Wells. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2025, vol.25, no.4, pp. 398-402. DOI: 10.15593/2712-8008/2025.4.15

Введение

Представлен инновационный метод восстановления проходимости насосно-компрессорных труб (НКТ) во всех типах скважин (нагнетательных и добывающих), в том числе оснащенных электроцентробежными насосами (ЭЦН). Метод основан на применении специализированного прибора для электрохимического нагрева, который доставляется в скважину с помощью геофизического кабеля и позволяет эффективно удалять асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО) с внутренних стенок труб. Прибор позволяет создавать в НКТ проходные каналы выбранного сечения.

Разработка данного метода была обусловлена необходимостью решения специфической задачи – увеличения проходного сечения НКТ без длительной остановки добычи и с минимальным риском повреждения ЭЦН. Применение стандартных методов (механическая очистка, химические реагенты) в данном случае затруднено или невозможно в силу конструктивных особенностей скважин с ЭЦН. Особенностью этой задачи является необходимость использования специального оборудования, которое не повредит ЭЦН и не приведет к дорогостоящему ремонту. Стандартные автоматические и механические скребки на проволоке не подходят для этой цели, поскольку существует риск обрыва проволоки и падения скребка на ЭЦН, что может привести к простою скважины и значительным финансовым потерям. Поэтому все работы должны проводиться с использованием устьевого лубрикатора.

Предлагаемый метод электрохимического нагрева обладает рядом преимуществ:

– высокая эффективность удаления АСПО;

– минимальный риск повреждения скважинного оборудования;

– возможность проведения работ без остановки добычи;

– относительная простота и низкая стоимость оборудования.

В рамках НИОКР 7481 была поставлена задача разработать специальный инструмент для восстановления проходного сечения НКТ, который можно использовать силами бригад геофизики с помощью стандартного геофизического подъемника (ПКС). При этом должна быть предусмотрена возможность автономной работы от дизельного генератора.

После тщательного анализа научно-технической информации и оценки различных методов авторы пришли к выводу, что наиболее эффективным подходом к решению этой проблемы является метод концевого электрического прогрева на кабеле [1–3]. В частности, было решено использовать электродный нагреватель, который отличается высокой надежностью и низкими затратами на обслуживание. Этот метод позволяет проводить регулярные профилактические работы по увеличению проходного сечения НКТ, что, в свою очередь, увеличивает межремонтный период и снижает затраты на ремонт.

В результате исследования разработаны конструкции скважинных электродных нагревателей различных диаметров, проведен подбор оптимального электролита и материалов электродов, а также создан новый наземный блок питания, обеспечивающий эффективную и безопасную работу системы на мощности до 10 КВт. Это позволило создать эффективные и надежные электродные нагреватели, которые могут быть использованы для увеличения проходного сечения НКТ в различных условиях.

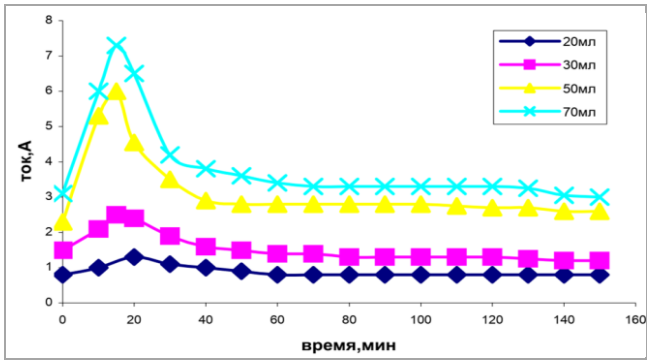


Рис. 1. Зависимость тока от времени нагрева и объема электролита в открытом цилиндрическом электролизере с центральным электродом

Разработанный электродный нагреватель предназначен для работы в сложных условиях добывающих скважин, где он подвергается воздействию высоких температур (до 120 °С), агрессивных компонентов скважинной среды (сероводород (H2S), плавиковая и соляные кислоты), а также циклической катодно-анодной поляризации от однофазной промышленной электросети 220 В. В таких условиях к материалам нагревателя предъявляются особые требования. Для изготовления электродов была выбрана специализированная нержавеющая сталь, обладающая не только высокой коррозионной стойкостью и электропроводностью, но и способностью выдерживать длительное воздействие переменного тока без значительной деградации [4–6].

Применяемый в приборе электролит также должен соответствовать ряду строгих требований:

– высокая электропроводность для эффективного протекания тока и генерации тепла;

– химическая совместимость с материалом электродов для предотвращения коррозии и обеспечения стабильности системы;

– устойчивость к высоким температурам и длительному воздействию переменного тока без изменения своих свойств и состава [7, 8].

В качестве электролита используется разработанный авторами уникальный состав, который полностью удовлетворяет перечисленным требованиям.

Тщательный подбор материалов и состава электролита позволил создать нагреватель, способный эффективно и надежно функционировать в течение длительного времени в сложных условиях скважинной эксплуатации.

Увеличение объема электролита является одним из способов повышения мощности нагревателя [9]. С ростом объема пропорционально увеличивается рабочая площадь электродов, что влечет за собой увеличение тока. Как видно из рис. 1, величина тока кипения также демонстрирует синхронный рост с увеличением объема электролита. Однако чрезмерное увеличение тока может привести к нежелательным последствиям: нарушению оптимального режима работы наземного блока питания и его перегреву. Таким образом, для достижения максимальной мощности нагревателя при минимальном риске перегрева необходимо найти оптимальное соотношение тока и напряжения блока питания. Эта задача потребовала проведения тщательных расчетов и экспериментального определения оптимальных параметров работы нагревателя [10, 11].

В ходе экспериментальных исследований выявлено влияние различных факторов на процесс кипения электролита в ионном нагревателе. При пропускании

переменного тока высокой плотности (более 1 А/см^2) через ограниченный объем электролита наблюдался интенсивный режим кипения с образованием крупных пузырьков пара. В этом режиме фиксировалось значительное снижение силы тока после начала кипения, а также нелинейная зависимость силы тока от электропроводности электролита. Для оптимизации процесса кипения и повышения стабильности работы нагревателя проведены дополнительные исследования. В результате установлено, что снижение плотности тока, увеличение объема электролита и интенсификация теплоотвода с поверхности нагревателя способствуют формированию более стабильного режима кипения с мелкими пузырьками пара. При этом зависимость силы тока от времени приобретает более плавный характер без резких пиков, что свидетельствует о повышении устойчивости работы нагревателя.

В результате проведенных исследований синтезирован комплексный электролит для ионного нагревателя, в полной мере отвечающий эксплуатационным требованиям и обеспечивающий стабильную и надежную работу устройства. Важным преимуществом данного электролита является сохранение материала электрода в процессе эксплуатации. Кроме того, определено оптимальное количество электролита, которое необходимо заливать в скважинный нагреватель, чтобы получить оптимальный ток в диапазоне 12–18 А. Это позволяет наземному блоку питания работать при максимальном выходном напряжении (600 В) без риска критического перегрева, что обеспечивает высокую эффективность и надежность системы в целом.

Анализ существующих электродных нагревателей старой конструкции, используемых в производственном подразделении, показал, что значительная часть электрической энергии не доходила до нагревателя и рассеивалась, нагревая геофизический кабель. Это было вызвано неоптимальной схемой наземного источника питания и неправильным количеством электролита. В результате эффективность восстановления проходного сечения составляла менее 75 %. Основной причиной этого была почти одинаковая электрическая проводимость нагревателя и геофизического кабеля, что приводило к равномерному распределению подводимой энергии между ними. Это, в свою очередь, вызывало плавление изоляции кабеля и снижало общую эффективность системы. Чтобы решить эту проблему, в рамках научно-исследовательской работы был разработан новый наземный блок электрического питания для скважинного нагревателя, который обеспечивает более эффективное и безопасное распределение энергии.

Новый наземный блок питания способен выдавать мощность до 10 кВт и обеспечивает оптимальную передачу энергии по геофизическому кабелю к электрохимическому нагревателю благодаря регулировке напряжения. Одним из ключевых улучшений является повышение сетевого напряжения с 220 до 600 В, что позволяет снизить потери энергии в кабеле. Кроме того, оптимизировано количество электролита, что также способствовало повышению эффективности системы в целом. Блок питания также оснащен устройством для измерения и индикации текущих значений тока и напряжения, что позволяет операторам контролировать работу системы в режиме реального времени. Упрощенная схема блока питания представлена на рис. 2 и иллюстрирует основные компоненты и принципы работы системы.

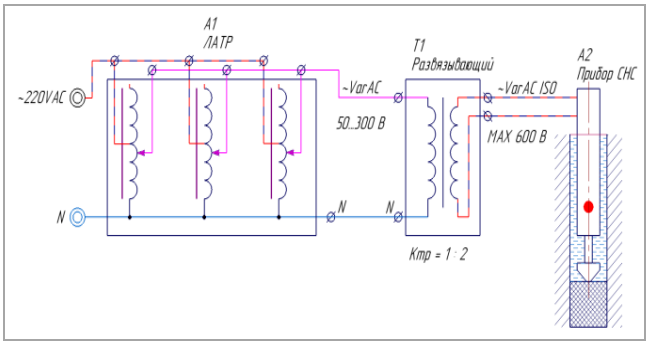


Рис. 2. Схема наземного источника питания скважинного нагревателя

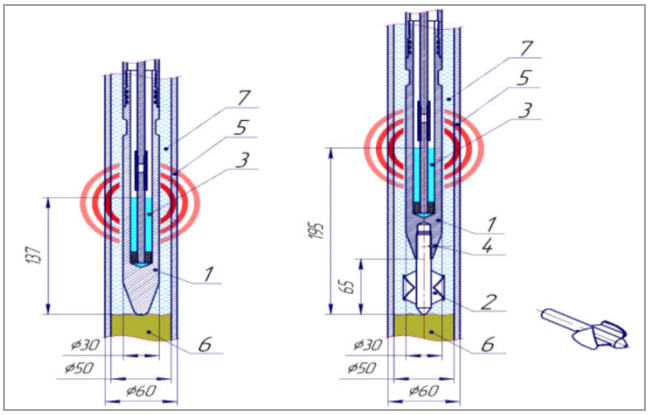


Рис. 3. Силовой блок с двумя вариантами наконечников внутри условной скважины с АСПО: *1* – корпус (латунь); *2* – наконечник; *3* – разогреваемый электролит; *4* – фиксатор наконечника; *5* – труба НКТ; *6* – парафин; *7* – скважинная жидкость

Ранее используемая конструкция электродного нагревателя имела простой конусообразный нижний торец, который нагревался за счет теплопередачи от электролита через металлический корпус прибора. Однако это приводило к неравномерному нагреву, поскольку точка максимального нагрева всегда находилась на верхней границе электролита, где плотность тока была самой высокой. Максимальное тепловыделение в данной области приводило к формированию температурного градиента вдоль нагревателя.

В новой конструкции электродного нагревателя внесено существенное улучшение: внутри конуса была нарезана резьба, позволяющая механически стыковаться с лезвийным скребком или пробойником, как показано на рис. 3. Это инновационное решение позволяет объединить методы теплового нагрева и механического устранения АСПО в одном скважинном приборе, что существенно расширяет его функциональные возможности.

Кроме того, благодаря тепловому контакту нижнее лезвие также нагревается, как показано на рис. 3, что еще больше повышает эффективность процесса удаления АСПО. При этом тип лезвия и его габариты могут быть выбраны в зависимости от конкретных потребностей, например, раскрывающиеся скребки, что позволяет адаптировать прибор к различным условиям эксплуатации.

Фотографии, сделанные тепловизором, показаны на рис. 4.

Для ускорения процесса пробития парафиновых пробок предлагается использовать комбинированный подход, который включает в себя механическое пробитие

с помощью нагретого скребка. Этот процесс предполагает поднятие скребка на несколько метров и его быстрый спуск, что позволяет использовать вес геофизического кабеля в качестве утяжелителя. Предварительные испытания, проведенные для проверки этой концепции, показали положительные результаты и подтвердили возможность эффективного пробития парафиновых пробок с помощью этого метода. Это инновационное решение может существенно ускорить процесс восстановления проходного сечения скважины и повысить эффективность эксплуатации нефтяных месторождений [12–14].

В результате проведенных исследований и разработок в рамках данного НИОКР получен патент на изобретение № 2821484 «Электродный нагревающийся скребок для скважины». Этот патент, датированный 19.10.2023, подтверждает новизну и оригинальность предложенных решений по сравнению с существующими аналогами [15].

Работы, проведенные в рамках НИОКР, открывают новые возможности для повышения эффективности,

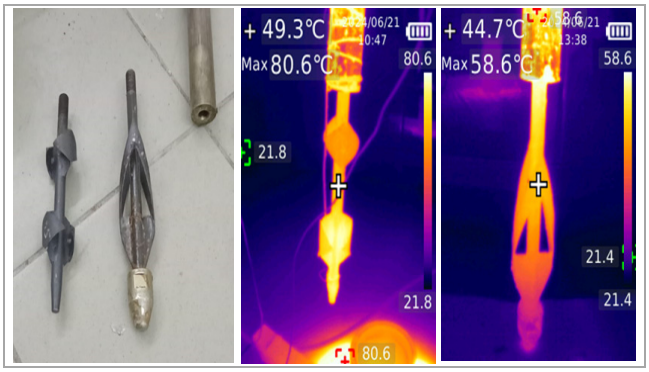


Рис. 4. Фотографии различных наконечников на фоне прибора

успешности и надежности восстановления проходного сечения НКТ в добывающих скважинах, оснащенных ЭЦН. Реализация этих разработок позволит существенно улучшить эксплуатационные характеристики скважин и повысить производительность нефтяных месторождений.

Библиографический список

1. Бардаков, А.В. Современные способы предотвращения образования АСПО в скважинах на ЮТМ-месторождениях / А.В. Бардаков // Молодой ученый. – 2022. – № 18. – С. 35–39.
2. Ворона, А.А. Методы предотвращения и удаления асфальто-смолопарафиновых отложений при добыче и транспортировке нефти [Электронный ресурс] / А.А. Ворона // Студенческий научный форум 2020: материалы XII Междунар. студ. науч. конф. – URL: https://files.scienceforum.ru/pdf/2020/5e2fffb4b012b.pdf (дата обращения: 11.06.2025).
3. Чернышов, К.И. Технология борьбы с АСПО при насосной эксплуатации скважин с использованием концентрических колонн НКТ / К.И. Чернышов, А.Н. Дроздов // Neftegaz.RU. – 2024. – № 5. – С. 68–71.
4. Тимофеев, И.А. Электротехнические материалы и изделия: учеб. пособие для вузов / И.А. Тимофеев. – СПб.: Лань, 2012. – 267 с.
5. Наноматериалы для электрических нагревателей: возможности и перспективы. – М.: Наука, 2015.
6. Электрические нагревательные элементы: теория, расчет, проектирование. – М.: Высшая школа, 1990.
7. Электролиты для нагревательных элементов: Теория и практика. – М.: Наука, 2012.
8. Материалы и компоненты для электрических нагревателей. – СПб.: Политехника, 2015.
9. Применение электролитов в электротермии. – М.: Энергия, 1979.
10. Экспериментальные методы исследования тепловых процессов. – М.: Высшая школа, 1987.
11. Оптимизация режимов работы электрических нагревателей. – СПб.: Политехника, 2009.
12. Дроздов, А.Н. Технология и техника добычи нефти погружными насосами в осложненных условиях: учеб. пособие / А.Н. Дроздов. – М.: МАКС пресс, 2008. – 309 с.
13. Ишвин, Я.В. Электрод и электролит для ионного нагрева высоковязкой нефти / Я.В. Ишвин // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 2. – С.177–180.
14. Справочник по электрохимии / под ред. А.М. Сухотина. – Л.: Химия, Ленингр. отд-ние, 1981. – 486 с.
15. Пат. № 2821484 Российская Федерация, МПК E21B 36/04 (2006.01), E21B 37/02 (2006.01), B08B 9/043 (2006.01). Электродный нагревающийся скребок для скважины: № 2023126773: заявлено 19.10.2023: опубликовано 25.06.2024 / Киргизов Д.И., Асадуллин Э.Р.; патентообладатель Публичное акционерное общество «Татнефть» имени В.Д. Шашина.
16. Коробова, А.В. Обоснование применения скважинного электродного нагревателя для добычи высоковязкой нефти / А.В. Коробова, А.А. Гиззатуллина // Материалы 48-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием, Октябрьский, 23 апреля 2021 года. – Октябрьский: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2021. – С. 273—278.
17. Кириллов, О.Ю. Эффективность применения электрохимических технологий для очистки трубопроводов / О.Ю. Кириллов // Вестник Тюменского государственного университета. Серия «Нефть и газ». – 2021. – № 3. – С. 67–73.
18. Медведева, А.С. Исследование влияния температуры на образование парафиновых отложений в трубопроводах / А.С. Медведева // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 35–43.
19. Монтаж, техническая диагностика и ремонт основного технологического оборудования химических производств и нефтегазопереработки: учебник / И.И. Поникаров, С.И. Поникаров, С.И. Валеев, С.А. Вилохин, С.В. Рачковский, А.А. Хоменко. – Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2018. – 798 с.
20. Полонский, В.Л. Механизм формирования парафиновых отложений в нефтедобывающей промышленности / В.Л. Полонский // Геология и разведка полезных ископаемых. – 2021. – № 2. – С. 43–51.
21. Абакумов, А.Е. Практика использования инновационных технологий для снижения уровня загрязнения внутритрубного пространства скважин / А.Е. Абакумов // Вестник Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3. – С. 56–62.
22. Гилаев, Г.Г. Управление продуктивностью нефтяных скважин / Г.Г. Гилаев, Р.Г. Гилаев, О.А. Грибенников. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2024. – 207 с.
23. Галанин, Ф.О. Повышение эксплуатационной надежности обсадных колонн путем исключения воздействия негативных факторов окружающей среды / Ф.О. Галанин // Нефтяное обозрение. – 2021. – № 4. – С. 31–37.
24. Лазута, И.В. Технологические процессы, оборудование и автоматизация нефтегазодобычи: учебное пособие / И.В. Лазута, Р.Ю. Сухарев. – Омск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)", 2015. – 158 с.
25. Быков И. Ю. Технология добычи нефти и газа. Технологические комплексы добычи и транспортировки: учебник / И.Ю. Быков, Н.Д. Цхадая, А. Мордвинов. – Старый Оскол: ТНТ, 2024. – 332 с.
26. Саруханов, А.Г. Обзор технических решений для эффективной очистки насосно-компрессорной колонны от АСПО / А.Г. Саруханов // Геолого-геохимические процессы и месторождения. – 2021. – № 1. – С. 76–84.
27. Тарасов, В.В. Новый подход к предотвращению забивания фильтров при обработке скважин / В.В. Тарасов // Научно-технический прогресс в машиностроении. – 2022. – № 4. – С. 87–94.
28. Шахворостова, Л.Н. Оценка перспектив использования новых композиционных материалов для обработки оборудования от парафиновых накоплений / Л.Н. Шахворостова // Нефтегазовая вертикаль. – 2021. – № 6. – С. 48–54.
29. Шурыгин, И.А. Выбор технологических параметров для удаления парафиновых скоплений в глубинных насосных установках / И.А. Шурыгин // Российский энергетический альманах. – 2022. – № 3. – С. 61–68.
30. Азимов, Р.А. Комплекс организационно-технических решений для повышения экономического предела эксплуатации добывающих скважин на месторождениях высоковязких нефтей: автореф. дис. канд. техн. наук / Р.А. Азимов. – СПб., 1998. – 32 с.
31. Карпов, К.А. Технологическое прогнозирование развития производств нефтегазохимического комплекса / К.А. Карпов. – СПб.: Лань, 2017. – 492 с.
32. Белов, А.А. Тепломассообменные процессы при удалении парафиновых и смоло-парафиновых образований в скважинах / А.А. Белов // Сборник трудов молодых ученых и специалистов ОАО «Газпром нефть». – 2022. – С. 35–42.
33. Борисов, С.Н. Новейшие тенденции в борьбе с образованием парафиновых отложений в нефтенасосных системах / С.Н. Борисов // Успехи современной науки и образования. – 2023. – № 4. – С. 63–70.
34. Зайцев, Д.А. Улучшенные технологии профилактики парафиновых проблем в трубопроводах / Д.А. Зайцев // Нефтегазовые технологии. – 2022. – № 1. – С. 44–51.
35. Куликов, А.В. Причины возникновения и пути преодоления сложностей, связанных с чистотой трубопроводов / А.В. Куликов // Российские энергетические технологии. – 2021. – № 3. – С. 78–85.
36. Лукьянов, А.А. Совершенствование устройств для чистки насосно-компрессорных труб / А.А. Лукьянов // Научные ведомости Белгородского госуниверситета. Серия: Строительство. Транспорт. – 2022. – № 2. – С. 53–60.
37. Малютин, В.В. Альтернативные подходы к устранению парафиновых засоров в глубоководных скважинах / В.В. Малютин // Техногенез XXI века. – 2023. – № 1. – С. 49–56.
38. Морозов, А.А. Физико-химические аспекты образования парафиновых накоплений в трубопроводах / А.А. Морозов // Вопросы химической безопасности в нефтегазовом комплексе. – 2021. – № 4. – С. 33–40.
39. Осипов, Н.А. Практика предупреждения и ликвидации последствий накопления парафина в оборудовании нефтедобычи / Н.А. Осипов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2022. – № 2. – С. 55–62.
40. Панфилова, Е.А. Определение эффективных путей очищения НКТ от парафиновых отходов / Е.А. Панфилова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2023. – № 1. – С. 65–72.
41. Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития ТЭК Западной Сибири: материалы IV городской научно-практической конференции обучающихся ВО, аспирантов и ученых, Тюмень, 25 апреля 2014 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2014. – 170 с
42. Семенов, В.А. Диагностика состояния насосно-компрессорных труб и борьба с проблемами парафинового характера / В.А. Семенов // Безопасность труда в промышленности. – 2022. – № 2. – С. 67–74.

43. Федотов, В.А. Исследования физико-химических механизмов формирования парафиновых затвердевших масс в трубопроводах / В.А. Федотов // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 1. – С. 39–46.
44. Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа: материалы VII Международной научно-практической конференции, Астрахань, 16 сентября 2016 года / ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». – Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2016. – 248 с.
46. Персиянцев, М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях / М.Н. Персиянцев. – М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000. – 653 с.
47. Тронов, В.П. Механизм образования смоло-парафиновых отложений и борьба с ними / В.П. Тронов. – М.: Недра, 1970. – 192 с.
48. Учет особенностей образования асфальтосмолопарафиновых отложений на поздней стадии разработки нефтяных месторождений / М.Ш. Каюмов, В.П. Тронов, И.А. Гуськов, А.А. Липаев // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 3. – С. 48–49.

References

1. Bardakov A.V. Sovremennye sposoby predotvrashcheniia obrazovaniia ASPO v skvazhinakh na IuTM-mestorozhdeniiakh [Modern methods for preventing the formation of asphaltenes and paraffins in wells at the Yuzhno-Turkmenistan oil fields]. *Molodoi uchenyi*, 2022, no. 18, pp. 35-39.
2. Vorona A.A. Metody predotvrashcheniia i udaleniia asfal'to-smoloparafinovykh otlozhenii pri dobyche i transportirovke nefti [Methods for preventing and removing asphalt-resin-paraffin deposits during oil production and transportation]. *Studencheskii nauchnyi forum 2020. Materialy XII Mezhdunarornoi studencheskoi nauchnoi konferentsii*, available at: https://files.scienceforum.ru/pdf/2020/5e2fffb4b012b.pdf (accessed 11 June 2025).
3. Chernyshov K.I., Drozdov A.N. Tekhnologiia bor'by s ASPO pri nasosnoi ekspluatatsii skvazhin s ispol'zovaniem kontsentricheskikh kolonn NKT [Technology for combating ASPD during pumping wells using concentric tubing columns]. *Neftegaz.RU*, 2024, no. 5, pp. 68-71.
4. Timofeev I.A. Elektrotekhnicheskie materialy i izdeliia [Electrical materials and products]. Saint Petersburg: Lan', 2012, 267 p.
5. Nanomaterialy dlia elektricheskikh nagrevatelei: vozmozhnosti i perspektivy [Nanomaterials for electric heaters: possibilities and prospects]. Moscow: Nauka, 2015.
6. Elektricheskie nagrevatel'nye elementy: teoriia, raschet, proektirovanie [Electric heating elements: theory, calculation, design]. Moscow: Vysshaia shkola, 1990.
7. Elektrolity dlia nagrevatel'nykh elementov: Teoriia i praktika [Electrolytes for Heating Elements: Theory and Practice]. Moscow: Nauka, 2012.
8. Materialy i komponenty dlia elektricheskikh nagrevatelei [Materials and components for electric heaters]. Saint Petersburg: Politekhnika, 2015.
9. Primenenie elektrolitov v elektrotermii [Application of electrolytes in electrothermal engineering]. Moscow: Energiia, 1979.
10. Eksperimental'nye metody issledovaniia teplovykh protsessov [Experimental methods for studying thermal processes]. Moscow: Vysshaia shkola, 1987.
11. Optimizatsiia rezhimov raboty elektricheskikh nagrevatelei [Optimization of operating modes of electric heaters]. Saint Petersburg: Politekhnika, 2009.
12. Drozdov A.N. Tekhnologiia i tekhnika dobychi nefti pogruzhnymi nasosami v oslozhnennykh usloviiakh [Technology and techniques for oil production using submersible pumps in difficult conditions]. Moscow: MAKS press, 2008, 309 p.
13. Ishvin Ia.V. Elektrod i elektrolit dlia ionnogo nagreva vysokoviazkoi nefti [Electrode and electrolyte for ion heating of high-viscosity oil]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, vol. 18, no. 2, pp. 177-180.
14. Spravochnik po elektrokhimii [Handbook of Electrochemistry]. Ed. A.M. Sukhotin. Leningrad: Khimiia, Leningradskoe otdelenie, 1981, 486 p.
15. Kirgizov D.I., Asadullin E.R. Elektrodnyi nagrevaiushchiisia skrebok dlia skvazhiny [Electrode heating scraper for a well]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2821484 (2024).
16. Korobova A.V., Gizzatullina A.A. Obosnovanie primeneniia skvazhinnogo elektrodnogo nagrevatelia dlia dobychi vysokoviazkoi nefti [Justification for the use of a borehole electrode heater for the production of high-viscosity oil]. *Materialy 48-i Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov s mezhdunarodnym uchastiem, Oktiabr'skii, 23 April 2021*. Oktiabr'skii: Ufimskii gosudarstvennyi neftianoi tekhnicheskii universitet, 2021, pp. 273-278.
17. Kirillov O.Iu. Effektivnost' primeneniia elektrokhimicheskikh tekhnologii dlia ochistki truboprovodov [Efficiency of using electrochemical technologies for cleaning pipelines]. *Vestnik Tiumenskogo gosudarstvennogo universiteta. "Neft' i gaz"*, 2021, no. 3, pp. 67-73.
18. Medvedeva A.S. Issledovanie vliianiia temperatury na obrazovanie parafinovykh otlozhenii v truboprovodakh [Study of the influence of temperature on the formation of paraffin deposits in pipelines]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii*, 2022, vol. 15, no. 1, pp. 35-43.
19. Ponikarov I.I., Ponikarov S.I., Valeev S.I., Vilokhin S.A., Rachkovskii S.V., Khomenko A.A. Montazh, tekhnicheskaia diagnostika i remont osnovnogo tekhnologicheskogo oborudovaniia khimicheskikh proizvodstv i neftegazopererabotki [Installation, technical diagnostics and repair of the main technological equipment for chemical production and oil and gas refining]. Kazan': Akademiia nauk RT, 2018, 798 p.
20. Polonskii V.L. Mekhanizm formirovaniia parafinovykh otlozhenii v neftedobyvaiushchei promyshlennosti [The mechanism of formation of paraffin deposits in the oil industry]. *Geologiia i razvedka poleznykh iskopaemykh*, 2021, no. 2, pp. 43-51.
21. Abakumov A.E. Praktika ispol'zovaniia innovatsionnykh tekhnologii dlia snizheniia urovnia zagriazneniia vnutritrubnogo prostranstva skvazhin [The practice of using innovative technologies to reduce the level of contamination in the tubular space of wells]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo agramogo universiteta*, 2023, no. 3, pp. 56-62.
22. Gilaev G.G., Gilaev R.G., Gribennikov O.A. Upravlenie produktivnost'iu neftianykh skvazhin [Oil Well Productivity Management]. Krasnodar: Kubanskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet, 2024, 207 p.
23. Galanin F.O. Povyshenie ekspluatatsionnoi nadezhnosti obsadnykh kolonn putem iskliucheniia vozdeistviia negativnykh faktorov okruzhaiushchei sredy [Improving the operational reliability of casing strings by eliminating the impact of negative environmental factors]. *Neftianoe obozrenie*, 2021, no. 4, pp. 31-37.
24. Lazuta I.V., Sukharev R.Iu. Tekhnologicheskie protsessy, oborudovanie i avtomatizatsiia neftegazodobychi [Technological processes, equipment and automation of oil and gas production]. Omsk: Sibirskaia gosudarstvennaia avtomobil'no-dorozhnaia akademiia, 2015, 158 p.
25. Bykov I.Iu., Tskhadaia N.D., Mordvinov A.A. Tekhnologiia dobychi nefti i gaza. Tekhnologicheskie kompleksy dobychi i transportirovki [Oil and gas production technology. Production and transportation systems]. Staryi Oskol: TNT, 2024, 332 p.
26. Sarukhanov A.G. Obzor tekhnicheskikh reshenii dlia effektivnoi ochistki nasosno-kompressornoi kolonny ot ASPO [A review of technical solutions for the efficient cleaning of compressor columns from asphalt, resin, and paraffin deposits]. *Geologo-geokhimicheskie protsessy i mestorozhdeniia*, 2021, no. 1, pp. 76-84.
27. Tarasov V.V. Novyi podkhod k predotvrashcheniiu zabivaniia fil'trov pri obrabotke skvazhin [A new approach to preventing filter clogging during well treatment]. *Nauchno-tekhnicheskii progress v mashinostroenii*, 2022, no. 4, pp. 87-94.
28. Shakhvorostova L.N. Otsenka perspektiv ispol'zovaniia novykh kompozitsionnykh materialov dlia obrabotki oborudovaniia ot parafinovykh nakoplenii [Evaluation of the prospects for using new composite materials for treating equipment from paraffin deposits]. *Neftegazovaia vertikal'*, 2021, no. 6, pp. 48-54.
29. Shurygin I.A. Vybor tekhnologicheskikh parametrov dlia udaleniia parafinovykh skoplenii v glubinnykh nasosnykh ustanovkakh [Selection of process parameters for the removal of paraffin deposits in deep well pumping units]. *Rossiiskii energeticheskii al'manakh*, 2022, no. 3, pp. 61-68.
30. Azimov R.A. Kompleks organizatsionno-tekhnicheskikh reshenii dlia povysheniia ekonomicheskogo predela ekspluatatsii dobyvaiushchikh skvazhin na mestorozhdeniiakh vysokoviazkikh neftei [A set of organizational and technical solutions to increase the economic limit of exploitation of production wells in high-viscosity oil fields]. Abstract of Ph. D. thesis. Saint Petersburg, 1998, 32 p.
31. Karpov K.A. Tekhnologicheskoe prognozirovanie razvitiia proizvodstv neftegazokhimicheskogo kompleksa [Technological forecasting of the development of production in the petrochemical complex]. Saint Petersburg: Lan', 2017, 492 p.
32. Belov A.A. Teplomassoobmennye protsessy pri udalenii parafinovykh i smolo-parafinovykh obrazovanii v skvazhinakh [Heat and mass transfer processes in the removal of paraffin and resin-paraffin formations in wells]. *Sbornik trudov molodykh uchenykh i spetsialistov OAO "Gazprom neft"*, 2022, pp. 35-42.
33. Borisov S.N. Noveishie tendentsii v bor'be s obrazovaniem parafinovykh otlozhenii v neftenasosnykh sistemakh [Latest trends in the fight against paraffin deposits in oil pumping systems]. *Uspekhi sovremennoi nauki i obrazovaniia*, 2023, no. 4, pp. 63-70.
34. Zaitsev D.A. Uluchshennye tekhnologii profilaktiki parafinovykh problem v truboprovodakh [Improved technologies for preventing paraffin problems in pipelines]. *Neftegazovye tekhnologii*, 2022, no. 1, pp. 44-51.
35. Kulikov A.V. Prichiny vozniknoveniia i puti preodoleniia slozhnostei, sviazannykh s chistotoi truboprovodov [Causes and solutions to problems related to pipeline cleanliness]. *Rossiiskie energeticheskie tekhnologii*, 2021, no. 3, pp. 78-85.
36. Luk'ianov A.A. Sovershenstvovanie ustroistv dlia chistki nasosno-kompressornykh trub [Improving devices for cleaning oil well tubing]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosuniversiteta. Stroitel'stvo. Transport*, 2022, no. 2, pp. 53-60.
37. Maliutin V.V. Al'ternativnye podkhody k ustraneniiu parafinovykh zasorov v glubokovodnykh skvazhinakh [Alternative approaches to eliminating paraffin blockages in deepwater wells]. *Tekhnogenez XXI veka*, 2023, no. 1, pp. 49-56.
38. Morozov A.A. Fiziko-khimicheskie aspekty obrazovaniia parafinovykh nakoplenii v truboprovodakh [Physicochemical aspects of the formation of paraffin deposits in pipelines]. *Voprosy khimicheskoi bezopasnosti v neftegazovom komplekse*, 2021, no. 4, pp. 33-40.
39. Osipov N.A. Praktika preduprezhdeniia i likvidatsii posledstvii nakopleniia parafina v oborudovanii neftedobychi [Practice of preventing and eliminating the consequences of paraffin accumulation in oil production equipment]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2022, no. 2, pp. 55-62.
40. Panfilova E.A. Opredelenie effektivnykh putei ochishcheniia NKT ot parafinovykh otkhodov [Determination of effective ways to clean tubing from paraffin waste]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta*, 2023, no. 1, pp. 65-72.
41. Opyt, aktual'nye problemy i perspektivy razvitiia TEK Zapadnoi Sibiri [Experience, current problems and development prospects of the fuel and energy complex of Western Siberia]. *Materialy IV gorodskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii obuchaiushchikhsia VO, aspirantov i uchenykh, Tiumen', 25 April 2014.* Tiumen': Tiumenskii gosudarstvennyi neftegazovyi universite, 2014, 170 p.
42. Semenov V.A. Diagnostika sostoianiia nasosno-kompressornykh trub i bor'ba s problemami parafinovogo kharaktera [Diagnostics of the condition of oil well tubing and the treatment of paraffin problems]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2022, no. 2, pp. 67-74.
43. Fedotov V.A. Issledovaniia fiziko-khimicheskikh mekhanizmov formirovaniia parafinovykh zatverdevshikh mass v truboprovodakh [Research of the physicochemical mechanisms of formation of paraffin solidified masses in pipelines]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2023, no. 1, pp. 39-46.
44. Noveishie tekhnologii osvoeniia mestorozhdenii uglevodorodnogo syr'ia i obespechenie bezopasnosti ekosistem Kaspiiskogo shel'fa [Latest technologies for developing hydrocarbon deposits and ensuring the safety of Caspian shelf ecosystems]. Materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Astrakhan', 16 September 2016. Astrakhan': Astrakhanskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2016, 248 p.
46. Persiiantsev M.N. Dobycha nefti v oslozhnennykh usloviiakh [Oil production in challenging conditions]. Moscow: OOO "Nedra-Biznestsentr", 2000, 653 p.
47. Tronov V.P. Mekhanizm obrazovaniia smolo-parafinovykh otlozhenii i bor'ba s nimi [The mechanism of formation of resin-paraffin deposits and the fight against them]. Moscow: Nedra, 1970, 192 p.
48. Kaiumov M.Sh., Tronov V.P., Gus'kov I.A., Lipaev A.A. Uchet osobennostei obrazovaniia asfal'tosmoloparafinovykh otlozhenii na pozdnei stadii razrabotki neftianykh mestorozhdenii [Taking into account the peculiarities of the formation of asphaltene-resin-paraffin deposits at a late stage of oil field development]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2006, no. 3, pp. 48-49.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Вклад авторов равноценен.