

На правах рукописи

ЛИЩУК АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БЕСШТАНГОВОЙ ДОБЫЧИ НЕФТИ
НА МАЛОДЕБИТНОМ ФОНДЕ СКВАЖИН**

Специальность 2.8.4 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тюмень – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет» на кафедре «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Научный руководитель: **Леонтьев Сергей Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

Официальные оппоненты: **Савенок Ольга Вадимовна**, доктор технических наук, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург

Сабиров Альберт Азгарович, кандидат технических наук, заместитель заведующего кафедрой машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности по научной работе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», г. Москва

Ведущая организация: Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ), г. Пермь

Защита состоится «_____» _____ 2026 г. в _____ ч. _____ мин. на заседании диссертационного совета 24.1.100.01 при ИПНГ РАН по адресу: 119333, г. Москва, ул. Губкина д.3, аудитория 703 _____

С диссертацией можно ознакомиться у ученого секретаря диссертационного совета 24.1.100.01 при ИПНГ РАН и на сайте:
<https://www.ipng.ru/>

Автореферат разослан «_____» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета _____

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Большинство нефтяных месторождений во многих нефтеносных регионах России находятся на заключительных стадиях разработки и характеризуются высокой обводненностью флюида, большим объемом осложнений (вынос механических примесей, образование парафиновых и солевых отложений) и небольшими дебитами нефти. В связи с этим увеличивается потребность в разработке новых технологий добычи нефти на малодебитном фонде скважин (МФС) с различными осложнениями. Для увеличения коэффициента нефтеотдачи на последних стадиях разработки нефтяных месторождений недропользователи широко применяют такие методы увеличения нефтеотдачи, как гидроразрыв пласта и форсированный отбор жидкости.

Одновременно с увеличением дебита скважин происходит неизбежный рост обводненности флюида. Это вызывает ухудшение проницаемости призабойной зоны скважин из-за закупоривания пор коллектора механической примесью и нефтепродуктами, содержащимися технической воды в используемой при закачке в пласты с помощью систем поддержания пластового давления (ППД). Происходит снижение охвата пласта по толщине и, соответственно, уменьшение коэффициента извлечения нефти (КИН) из-за исключения пропластков, не охваченных обводнением.

Все вышеперечисленные причины приводят к увеличению малодебитного фонда с высокой обводненностью и другими осложнениями. В связи с этим, недропользователю необходимо решать задачи оптимизации по подбору и эксплуатации глубинного насосного оборудования в условиях низкого притока нефти, коррозии и высокого газового фактора.

В настоящее время добыча в МФС в основном осуществляется нерентабельным методом периодической эксплуатации скважин установками электроприводных центробежных насосов, что также подтверждает необходимость разработки новых технологий добычи нефти.

Данная работа посвящена разработке и апробации технологии бесштанговой добычи нефти на малодебитном фонде скважин.

Степень разработанности темы исследования. Научная и практическая новизна диссертационной работы базируется на выводах научных исследований и

результатах экспериментальных разработок отечественных и зарубежных ученых в области создания и эксплуатации глубинного насосного оборудования.

В 1942 году М.А. Гейманом впервые была озвучена проблема эксплуатации фонда малодебитных скважин. Дальнейшее развитие тема рационального функционирования глубинных насосов на МФС получила в трудах А.Н. Адонина, Ю.А. Балакирова, М.Д. Валеева, В.М. Валовского, А.С. Вирновского, Г.Г. Гилаева, В.И. Грайфера, А.Н. Дроздова, В.Н. Ивановского, А.А. Ишмурзина, К.А. Карапетова, В.С. Кроля, Р.Я. Кучумова, Р.А. МаксUTOва, И.Т. Мищенко, А.М. Пирвердяна, К.Р. Уразакова, В.А. Харьковa, О.В Чубанова, J.D.Clegg, В. Campbell, W.L.Lake, F. Wengang.

Вместе с тем разработки и усовершенствования технологии плунжерной насосной установки для работы на МФС остаются малоизученными.

Целью работы является разработка новой эффективной технологии добычи нефти на малодебитном фонде скважин, осложнённом механическими примесями, высокой обводненностью, повышенным газовым фактором и увеличенной глубиной спуска насосного оборудования.

Основные задачи

1. Анализ опыта эксплуатации малодебитных скважин механизированными способами добычи нефти с выявлением структуры и основных видов отказов насосного оборудования в скважинах с высоким содержанием механических примесей.

2. Разработка методических рекомендаций по стендовым испытаниям установки бесштанговой добычи нефти для определения рациональных параметров работы насосного оборудования.

3. Интерпретация результатов проведения опытно-промышленных испытаний системы бесштанговой добычи нефти на месторождениях Татарстана, Азербайджана и Западной Сибири на основе исследований динамограмм работы насоса в зависимости от структуры и состава водогазонефтяной смеси.

4. Определение критериев применимости технологии бесштанговой добычи нефти на малодебитном и осложненном фонде добывающих скважин.

Объект исследования – добывающие скважины малодебитного фонда.
Предмет исследования – технология бесштанговой добычи нефти на основе погружного привода и плунжерного насоса.

Научная новизна работы

1. Научно обосновано применение бесштанговой добычи нефти на основе гидромеханического погружного редуктора (ГМПР), предназначенного для эксплуатации глубинного насосного оборудования в условиях увеличенной глубины спуска, низкого притока нефти и высокого газового фактора.

2. Предложена методика стендовых испытаний на основе анализа напорно-расходных характеристик и энергетической эффективности при вариативных частотах вращения вала погружного электродвигателя.

Теоретическая значимость работы. Результаты стендовых и опытно-промышленных испытаний технологии бесштанговой добычи расширяют теоретическую базу в области проектирования плунжерных насосов с погружным редуктором. Полученные автором динамограммы работы насоса в зависимости от структуры и состава водогазонефтяной смеси раскрывают особенности применения бесштанговой технологии с погружным редуктором на скважинах осложненного малодебитного фонда.

Обоснован выбор режимов отбора нефти из скважин, исключающих срыв подачи потока по причине заклинивания установки от различных осложняющих факторов.

Практическая значимость исследования

1. Разработанная технология бесштанговой добычи нефти (СБДН) на основе ГМПР опробована на добывающих скважинах нефтегазовых месторождениях: Ромашкинское, Мегионское и морских – Нефтяные Камни и Пираллахи. Полученные результаты опытно-промысловых испытаний и исследований подтверждают универсальность технологии для разных геологических и технологических условий добычи нефти.

2. Разработана авторская методика интерпретации динамограмм работы насоса, связывающая изменения в структуре водогазонефтяной смеси с динамикой нагрузок на плунжерный насос, что позволяет прогнозировать режим работы

оборудования и оптимизировать его параметры по числу качаний и отбору скважинного флюида для сохранения стабильности подачи.

3. Обоснована итоговая компоновка и проведена систематизация параметров (глубина спуска установки (напор), диаметр плунжера, мощность двигателя и оптимальный дебит), позволяющая определить критерии определения областей применения СБДН (газовый фактор, кривизна ствола скважины, содержание механических примесей и др.).

4. Общая прогнозируемая экономия при использовании установок и технологии СБДН при эксплуатации однотипной скважины одной установкой, взамен станка-качалки СКД-6, рассчитанная на основе данных руководящих материалов недропользователя, составила около 4,8 млн руб. в год.

Методы исследования. Для решения поставленных задач автором использовались данные промысловых испытаний, разработана конструкция глубинного насосного оборудования, проведены стендовые и опытно-промысловые испытания, экспериментальные и аналитические исследования, дана оценка технологической эффективности работы прибора.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Разработан и опробован универсальный метод проведения стендовых испытаний насосного оборудования для прогнозирования рабочих параметров и оценки эффективности работы бесштанговой системы добычи нефти на основе гидромеханического погружного редуктора (ГМПР), что дает возможность оптимизировать напорно-расходные параметры проектируемой системы в зависимости от диаметров плунжеров насосов для достижения максимального коэффициента полезного действия.

2. Методика интерпретации графических результатов исследований – зональный анализ динамограмм работы насоса в зависимости от структуры и состава добываемого скважинного флюида, позволяющий осуществлять мониторинг добычи в режиме онлайн, с целью дальнейшей оптимизации работы оборудования в зависимости от наблюдаемых режимов и рабочих параметров, для обеспечения стабильности отбора продукции из скважины без срывов подачи.

3. Разработаны критерии определения области применения технологии бесштанговой добычи нефти на основе гидромеханического погружного редуктора (ГМПР), показывающие преимущество эксплуатации установки на малодебитном и осложненном фонде добывающих скважин, в зависимости от глубины спуска при различных осложняющих факторах (кривизна ствола скважины, высокая обводненность скважинного флюида, повышенный газовый фактор, малый приток нефти, залповый вынос механических примесей).

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на научно-технических советах нефтяных компаний России: ООО «Лукойл-Инжиниринг», ПАО «Татнефть», ООО «Башнефть-Добыча», АО «Белкамнефть», АО «Оренбургнефть», ООО «Газпромнефть НТЦ» и стран СНГ: Республики Азербайджан (ГНКАР «SOCAR») и Республики Казахстан (НК «КазМунайГаз»).

Также были сделаны доклады на научных конференциях, форумах и стратегических сессиях: 19-я Международная научно-практическая конференция «Повышение эффективности эксплуатации малодебитного фонда скважин – 2022». 11-12.10.2022, г. Москва; 5-я Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы нефти и газа». Институт проблем нефти и газа РАН. 20-21.10. 2022, г. Москва; Промышленно-энергетический форум ТНФ-23. Сессия Нефтегазового кластера «Территория инноваций», 19.09.2023, г. Тюмень.; Третий Конгресс молодых ученых. Десятилетие науки и технологий. Мероприятие-Спутник. Стратегическая сессия по теме: «Повышение эффективности технологических процессов предприятий ТЭК Пермского Края» 04-06.10.2023, г. Пермь; Научная территория: технологии и инновации. Материалы Международной научно-практической конференции. Тюмень. ТИУ, ноябрь 2023; 21-я Международная научно-практическая конференция «Механизованная добыча нефти – 2024» 14-15.03.2024, г. Москва; 4-я Научно-практическая конференция «Энергоэффективная добыча и переработка нефти – 2024». 04-05.06.2024, г. Тюмень.

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач работы, принятии непосредственного участия в стендовых испытаниях и опытно-промышленных работах по изучению и внедрению технологии бесштанговой добычи нефти на

малодебитном и осложненном фонде добывающих скважин; разработке критериев применимости новой технологии и конструкции глубинного насосного оборудования.

Публикации. Основные положения и результаты диссертации отражены в 13 научных трудах, включая 7 докладов и 6 публикаций в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий Высшей аттестационной комиссии (ВАК). Получено 5 патентов, из них: 3 патента РФ, 1 международный патент и 1 евразийский патент.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тема и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту научной специальности 2.8.4. «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», пункту 5 «Технологии и технические средства обустройства, добычи, сбора и подготовки скважинной продукции и технологические режимы их эксплуатации, диагностика оборудования и промышленных сооружений, обеспечивающих добычу, сбор, внутри промысловый транспорт и промысловую подготовку нефти и газа к транспорту, на базе разработки, развития научных основ, ресурсосбережения и комплексного использования пластовой энергии и компонентов осваиваемых минеральных ресурсов с учетом гидрометеорологических, инженерно-геологических и географических особенностей расположения месторождений».

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 130 страницах машинописного текста. Работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка сокращений и списка литературы, содержит 31 таблицу, 29 рисунков и 1 приложение. Библиографический список включает 102 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, определены основные защищаемые положения.

Первая глава посвящена анализу опыта эксплуатации малодебитных скважин механизированными способами добычи нефти с выявлением структуры и основных видов отказов насосного оборудования. Приведены особенности

конструкции и эксплуатации погружной установки бесштанговой добычи нефти на основе патентов соискателя. На основе анализа выработаны условия работы и требования, предъявляемые к вновь проектируемым насосным системам скважинных установок для малодобитного фонда скважин, которые обуславливают применение новых конструктивных решений.

Во второй главе обоснованы методические рекомендации по стендовым испытаниям установки бесштанговой добычи нефти для определения рациональных параметров работы насосного оборудования.

Для снятия показаний характеристик плунжерной насосной установки с гидромеханическим редуктором была создана стенд-скважина, гидравлическая схема приведена на рисунке 1.

Стенд-скважина предназначена для проведения предварительных, приемочных, квалификационных и ресурсных испытаний погружных плунжерных насосных установок с приводом от погружного гидромеханического редуктора (ГМПР).

Для данного исследования разработана методика определения гидравлических и энергетических параметров экспериментальной установки, работающей на воде с особым вниманием к анализу напорно-расходных характеристик и энергетической эффективности при вариативных частотах вращения вала погружного электродвигателя. Исследование предполагает систематический сбор данных о производительности установки, включая измерение объемного расхода жидкости, напора, потребляемой мощности и КПД системы при различных режимах работы. Дополнительным этапом исследования является валидация полномасштабной модели системы бесштанговой добычи нефти, разработанной с целью предсказания поведения реальной установки в разнообразных эксплуатационных сценариях. Процесс валидации предусматривает сопоставление результатов, полученных в ходе физических испытаний, с расчетными данными, сгенерированными моделью, для подтверждения ее адекватности и надежности прогнозирования рабочих параметров и оценки эффективности системы.

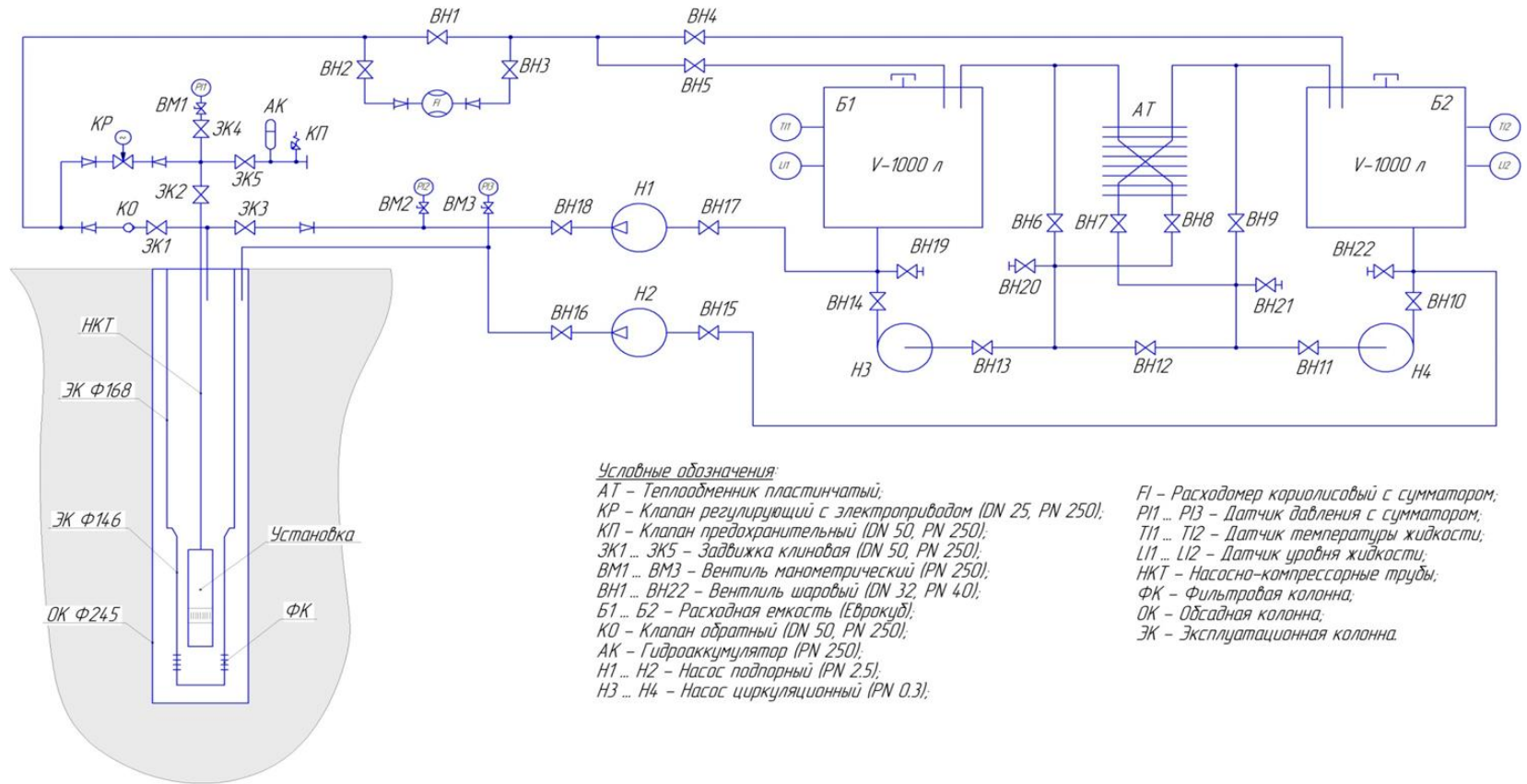


Рисунок 1 – Гидравлическая схема испытательной стэнд-скважины

При проведении гидравлических испытаний насосной установки, измерение ключевых параметров производится в соответствии с требованиями ГОСТ 17108, устанавливающим требования и стандарты на методы испытаний.

Важным аспектом испытаний является соблюдение пределов допускаемой основной относительной погрешности измерений, для чего установлены следующие нормативы:

- Подача (объемный расход жидкости): допускается погрешность $\pm 0,25\%$;
- Давление: допускается погрешность $\pm 0,25\%$;
- Мощность потребления: допускается погрешность $\pm 0,25\%$.

Перед началом испытательного процесса выполняется процедура обкатки насосной установки на воде в номинальных условиях работы. Для этого устанавливается следующий режим:

- Частота вращения: 12 Гц (700 об/мин);
- Подача: $2,4 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Обкатка проводится без присутствия осложняющих эксплуатационных факторов при последовательном повышении давления на выходе из насоса до установленных значений:

- 0 МПа в течение 10 мин.;
- 5 МПа в течение 10 мин.;
- 10 МПа в течение 10 мин.

Перед началом испытания значение подачи не должно изменяться более, чем на $\pm 1\%$ за 10 мин. при постоянном давлении и частоте вращения. Испытания проводятся на воде. Испытание должно проводиться при давлении на приеме насоса не менее 0,25 МПа.

Результаты стендовых испытаний сравнивались с стандартными расчетными параметрами. Сравнительные характеристики приведены на рисунках 2-4.

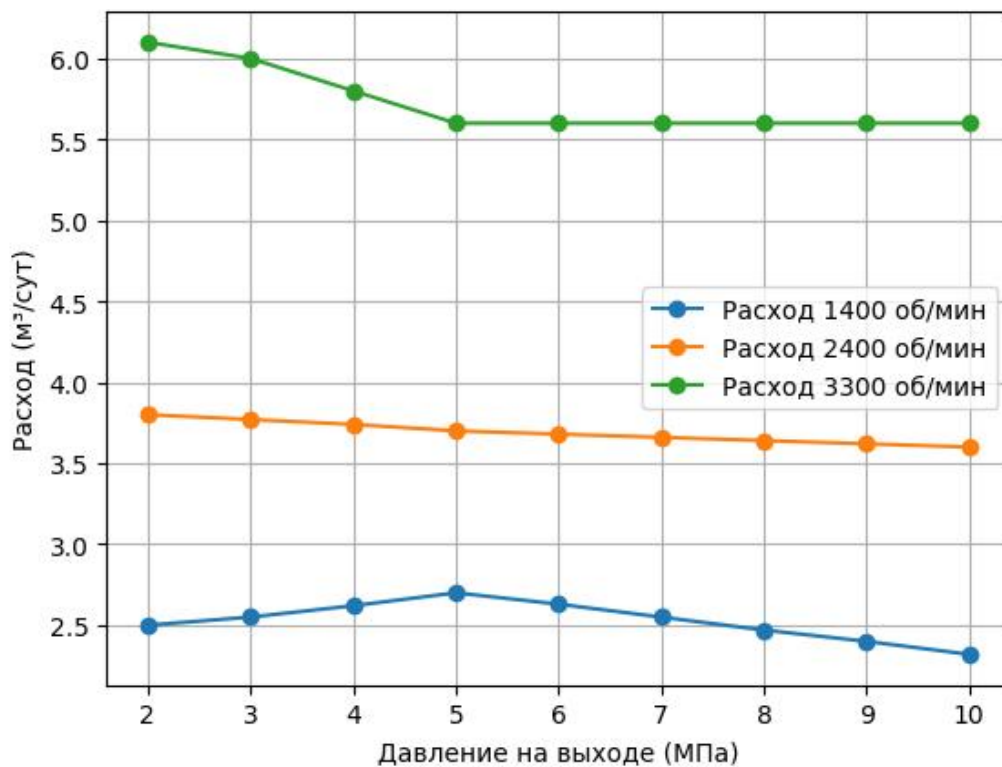


Рисунок 2 – Характеристика: производительность установки на базе насоса ННЛ-38 (900..1500 об/мин), м³/сут

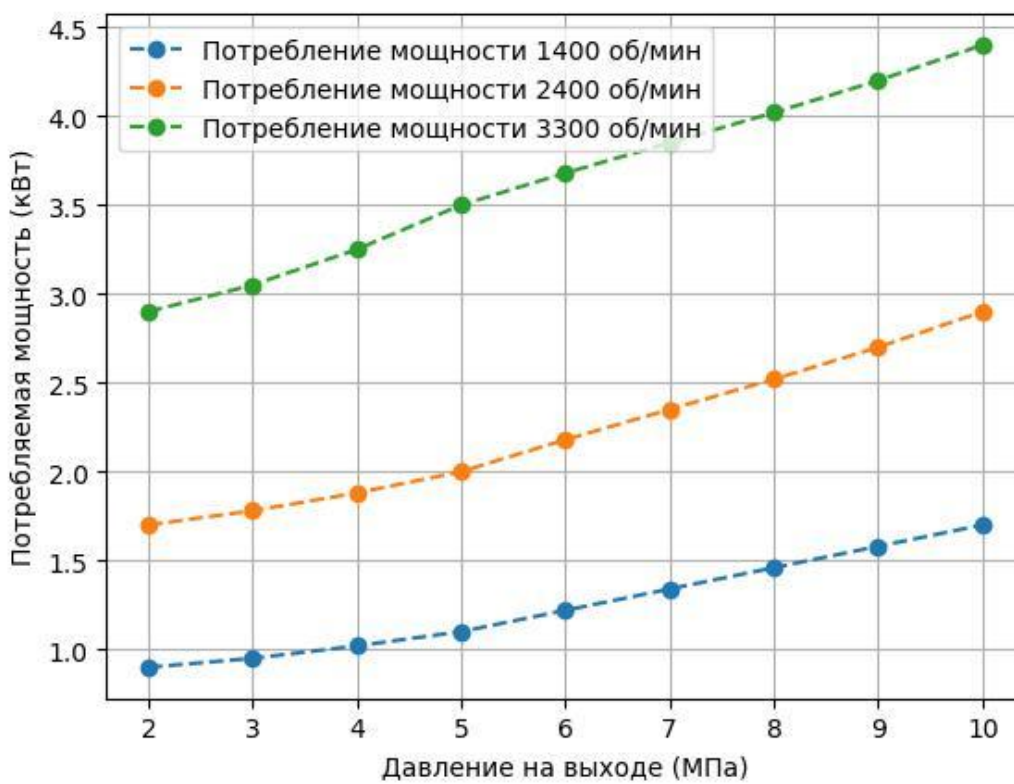


Рисунок 3 – Характеристика: потребляемая мощность установки на базе насоса ННЛ-38 (900..1500 об/мин), кВт

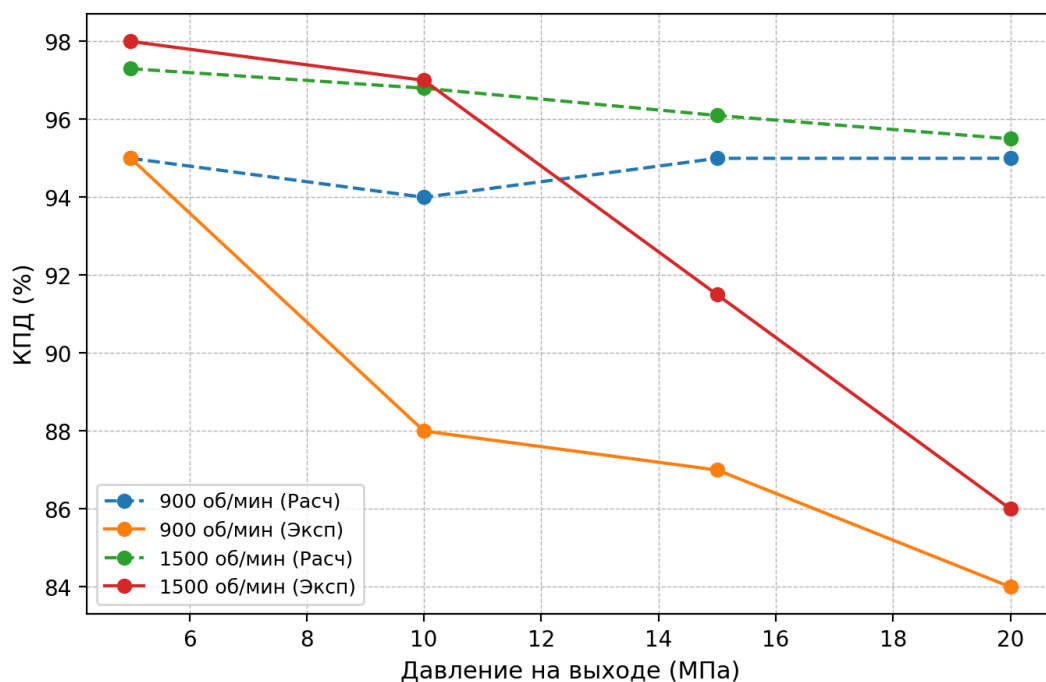


Рисунок 4 – Характеристика: КПД установки на базе насоса ННЛ-38 (900..1500 об/мин), %

На основании стендовых испытаний для проведения опытно-промышленных испытаний (ОПИ) на скважинах нефтяных месторождений наиболее обоснованным является использование насосов на базе модели ННЛ-38. Данная модель насоса продемонстрировала минимальные расхождения между расчетными и экспериментальными параметрами при низких и средних давлениях (до 100 атм) и частотах вращения до 1200 об/мин. Это свидетельствует об их стабильной и предсказуемой работе в реальных условиях при средних нагрузках, делая их оптимальными для ОПИ. Кроме того, при испытаниях насосов ННЛ-38 было зафиксировано высокое соответствие между теоретическими и фактическими показателями КПД. Минимальные отклонения между расчетными и фактическими значениями для насосов ННЛ-38 даже при повышенных давлениях указывают на незначительное влияние внешних факторов, таких как механические потери или отклонения от идеальных условий эксплуатации, что способствует снижению рисков при проведении ОПИ.

В третьей главе представлена интерпретация результатов опытно-промышленных испытаний системы бесштанговой добычи нефти на месторождениях Татарстана, Азербайджана и Западной Сибири.

Ромашкинское месторождение ПАО «Татнефть»

Осложняющие факторы: критическая кривизна ствола скважины, водонефтяная эмульсия с высокой динамической вязкостью (до 7000 мПа•с (сП)).

Критерий успешности: работа установки без нарушения трансмиссии, без срывов подачи, удельное энергопотребление не более 20 кВт/м³•км.

ОПИ проводились на скважине, которая характеризуется значительной кривизной ствола, что приводит к частым обрывам штанг и, как следствие, к вынужденным остановкам добычи нефти.

При проведении ОПИ снимались показания энергопотребления при работе насосной установки в режиме онлайн; была доказана энергоэффективность предложенной установки, результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные по удельному расходу электроэнергии при зарегистрированном дебите на первом этапе ОПИ на Ромашкинском месторождении

Вид привода насоса	Потребляемая мощность, кВт*час	Производительность насосной установки по жидкости, м ³ /сут
УШГН	18,9	2,5
ГМПР (ВНР)	4,4	4,0
ГМПР (режим)	3,5	4,2

Примечание: УШГН - установка штангового глубинного насоса;
ВНР – эксплуатация установки при выводе на режим с необходимостью откачки жидкости глушения; Режим – начало и продолжение откачки скважинной жидкости.

Для более точной интерпретации результатов работы насосного оборудования использовался предложенный метод визуального анализа графических динамограмм, позволяющий определить режимы работы установки.

Методика анализа динамограммы включает сравнение теоретического вытесняемого объёма за ход и фактически достигнутой производительности. При этом коэффициент подачи определяется как отношение реального объёма перекачанной жидкости к теоретическому объёму, соответствующему полному циклу движения плунжера. На рисунке 5 приведена динамограмма плунжерной насосной установки с гидромеханическим погружным редуктором, полученная в ходе опытно-промышленных испытаний на скважине Ромашкинского месторождения.

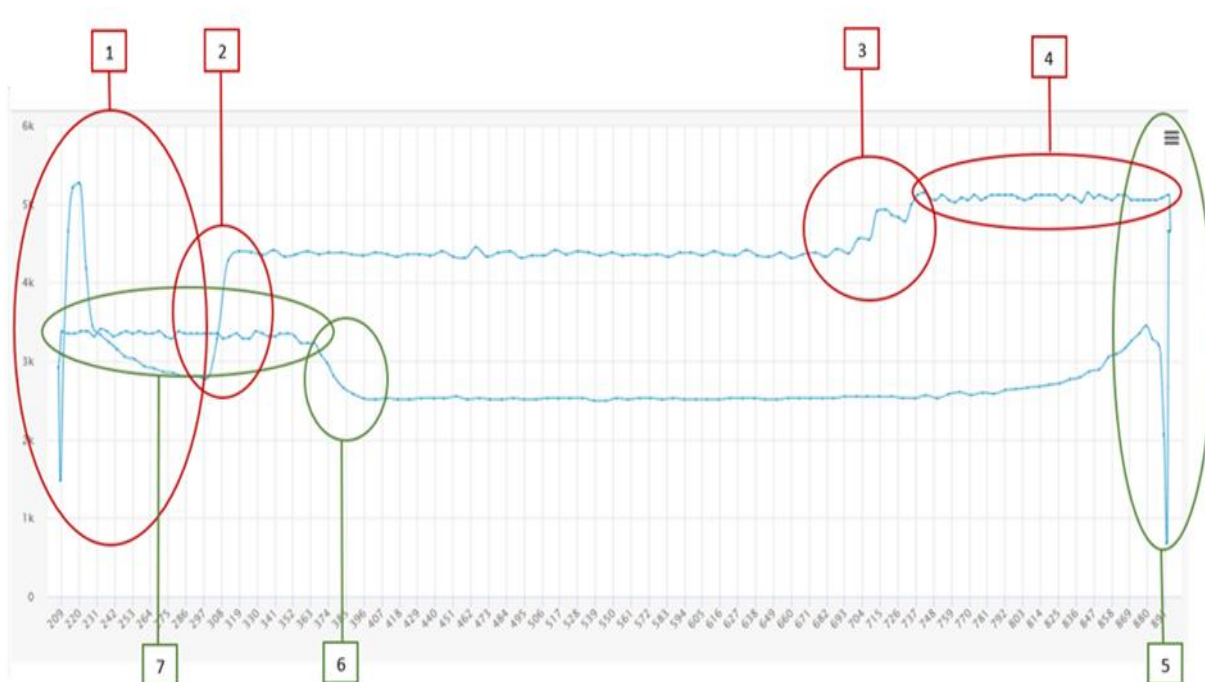


Рисунок 5 – Динамограмма при работе на исследуемой скважине с обозначением зон оценки коэффициента подачи

На рисунке 5 выделены типичные особенности и фазы работы объемного насоса, описание которых приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Интерпретация динамограммы работы СБДН по фазам и зонам

Фаза	Зона	Описание
Нагнетание		Провал характеристики вначале рабочего хода свидетельствует о газовых пробках
		Вытеснение газовой пробки, выход на номинальный режим
	3	Упор линейного силового узла в верхний демпфер
	4	Преодоление сопротивления верхнего демпфера
Реверс		Участок малой скорости, преодоление сопротивления верхнего демпфера, пульсация клапанной пары насоса при низком дебите
		Ускорение качающего узла, выход на номинальный режим
		Замедление реверсивного (обратного) хода и контакт с нижним демпфером

Области 1 и 2 на динамограмме вначале цикла нагнетания указывают на недостижение полного объёма заполнения насоса, что может быть вызвано фазовой неоднородностью (наличие газа) или наличием механических примесей. Анализ

динамограмм с использованием визуальной оценки позволяет диагностировать причины недоиспользования насоса и скорректировать режим его работы путем регулировки скорости вращения двигателя и длины хода плунжера.

Применение данной методики в рамках ОПИ позволило добиться стабилизации режима работы и увеличения коэффициента подачи в ряде случаев с 0,72 до 0,91. Действительно, анализируя реальную динамограмму (рисунок 5), полученную во время работы установки на реальной описанной выше скважине, видно, что в силу вертикальных участков роста/снижения момента на валу ГМПП, заполнение цилиндра насоса близко или составляет 100% из-за точной подгонки зазора на плунжере в заводских условиях, а переход от рабочего хода и хода реверса происходит за меньший промежуток времени - около нескольких секунд, что и приводит к увеличению производительности при применении бесштанговой технологии.

Рассмотрим основные этапы цикла и сопутствующие явления.

Начальный этап – плунжер в крайнем нижнем положении. Состояние: Плунжер находится в нижней мертвой точке. Нагрузка: определяется весом столба жидкости. Клапан: происходит открытие всасывающего клапана.

Этап подъема – захват жидкости. Динамика нагрузки: наблюдается плавное увеличение нагрузки. Гармоники - колебания возникают из-за неравномерной подачи жидкости, пульсаций давления в системе и общих механических колебаний.

Идет процесс начала захвата плунжером газожидкостной смеси (зоны 1,2).

Рабочий ход. Наблюдается относительно стабильное движение, нагрузка достигает постоянной максимальной величины (интервал от зоны 2 до зоны 3).

Колебания значений нагрузки вызваны следующими факторами: уплотнение среды и принудительное закрытие нагнетательного клапана, т.н. сжатие гидравлического демпфера (зона 4). При этом могут наблюдаться гидродинамические эффекты, связанные с перераспределением механических примесей и газа в смеси. Нагрузка достигает максимума.

Этап спуска (зона 5) характеризуется резким снижением нагрузки в силу закрытия всасывающего и открытия нагнетательного клапана. Нагрузка снижается

до минимума в данном цикле и снова возрастает до определенного рабочего уровня, где стабилизируется на номинальном значении.

Завершающий этап (интервал от зоны 5 до зоны 6) – плунжер движется вниз, нагнетательный клапан закрывается. В результате система готовится к началу нового рабочего цикла. Зона 7 при этом характеризуется некоторым увеличением нагрузки, в силу торможения на нижнем демпфере и резким переходом на границе зоны 7 в зону 1, в связи с подготовкой к новому рабочему циклу.

Действительно ключевым фактором, определяющим характер нагрузки, является отсутствие колонны штанг, что радикально меняет механику передачи нагрузки:

- исчезает упругая деформация штанг, тем самым выполняется функция сглаживания резких изменений нагрузки;

- прямые механические связи между плунжером и приводом приводят к ускоренной передаче динамических нагрузок;

- грубые фронты динамограммы (резкие перепады нагрузки) отражают мгновенные изменения усилий в установке;

- зоны неполного заполнения цилиндра насоса (зоны 1 и 2 по таблице 2) обуславливаются отсутствием демпфирующего эффекта от штанг.

Механические упоры и сопротивления (демпферы, клапаны) преобразуют эти импульсы в резкие скачки усилия, передающиеся на плунжер и привод. Результатом является формирование грубых фронтов динамограммы с аномальными всплесками в ключевых фазах работы (нагнетание, реверс, преодоление сопротивления).

Месторождение «Нефтяные Камни» ГНКАР «SOCAR»

Осложняющие факторы: повышенное газосодержание откачиваемой продукции (более $1800 \text{ м}^3/\text{м}^3$), крайне низкое пластовое давление, присутствие механических примесей в скважинном флюиде и периодический их залповый вынос. *Критерий успешности:* работа установки без срывов подачи, наработка на отказ не менее 90 суток. Данные по удельному расходу электроэнергии приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Данные по удельному расходу электроэнергии при зарегистрированном дебите на первом этапе ОПИ на месторождении «Нефтяные камни» (Азербайджан)

Вид привода насоса	Потребляемая мощность, кВт*час	Производительность насосной установки по жидкости, м ³ /сут
Газлифтный способ добычи	–	–
ГМПР (ВНР)	1,1	2,6
ГМПР (режим)	1,2	4,02

Примечание: ВНР – эксплуатация установки при выводе на режим, с необходимостью откачки жидкости глушения; Режим – начало и продолжение откачки скважинной жидкости.

Месторождение «Пираллахи» ГНКАР «SOCAR»

Осложняющие факторы: крайне низкое пластовое давление, присутствие механических примесей в скважинном флюиде и периодический их залповый вынос. *Критерий успешности:* работа установки без срывов подачи, наработка на отказ не менее 90 суток, удельное энергопотребление не более 15 кВт/м³·км. Данные по удельному расходу электроэнергии приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Данные по удельному расходу электроэнергии при зарегистрированном дебите на втором этапе ОПИ на месторождении «Пираллахи» (Азербайджан)

Вид привода насоса	Потребляемая мощность, кВт*час	Производительность насосной установки по жидкости, м ³ /сут
УШГН	7,0-8,0	2,6-3,0
ГМПР (ВНР)	1,5-1,7	2,6
ГМПР (режим)	0,8-1,2	2,5

Примечание: УШГН - установка штангового глубинного насоса; ВНР – эксплуатация установки при выводе на режим, с необходимостью откачки жидкости глушения; Режим – начало и продолжение откачки скважинной жидкости.

Мегионское месторождение ПАО «Славнефть – Мегионнефтегаз»

Осложняющие факторы: недостаточный приток, работа в периодическом режиме, повышенная температура пластового флюида. *Критерий успешности:* работа установки без срывов подачи, наработка на отказ не менее 180 суток, удельное энергопотребление не более 15,3 кВт/м³·км.

При изменении режимов отбора с периодического, характеризующегося длительным временем накопления (ЭЦН), на постоянный непрерывный (ГМПР) отмечено, что содержание нефти в продукции данной скважины увеличилось. Для сравнения данные сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Сравнение содержания нефти в продукции при различных способах эксплуатации скважины

Установка	ГМПР-108/0-12-03 (СБДН)	УЭЦН 5-80-1850
Режим работы	Непрерывный	Периодический (6 мин в работе, 16 мин накоп.)
Развиваемый напор, м	1660	
Дебит по жидкости, м ³ /сут	3,5	14
Дебит по нефти, т/сут	2,5	1,8
Обводненность, %	17	85
Потребляемая мощность, кВт	1,2...3,1	11,9
Температура флюида, °С	65	65
Итого нефти за месяц, т	75	54
Итого нефти за год, т	912	657
Примечание: УЭЦН – установка электроцентробежного насоса.		

Из приведенных выше параметров скважин можно заметить, что по глубине спуска 1660 м скважина Мегионского месторождения имеет самую большую величину этого параметра. 1048 м – Ромашкинское месторождение, 957 и 753 м Нефтяные Камни и Пираллахи – соответственно и никак не коррелирует с требованиями по удельному энергопотреблению, что характеризует различную практическую приоритетность данного параметра при требуемой наработке на отказ.

Из всего многообразия возможных критериев успешности выделены главные, которые представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Критерии успешности ОПИ

Наименование критерия	ПАО «Татнефть», Ромашкинское, месторождение	ГНК «SOCAR», месторождение «Нефтяные Камни»	ГНК «SOCAR», месторождение «Пираллахи»	ПАО «Славнефть – Мегионнефтегаз», Мегионское месторождение
Целевая наработка на отказ, сут	90	90	90	180
Целевое удельное энергопотребление, кВт/м ³ ·км	10,2	15,0	15,0	15,3
Глубина спуска установки, м	1048	880	753	1660

В четвертой главе на основе проведенных опытно-промышленных испытаний определены основные технические характеристики плунжерных насосов, итоговая компоновка установки бесштанговой добычи нефти, которая представлена на рисунке 6.

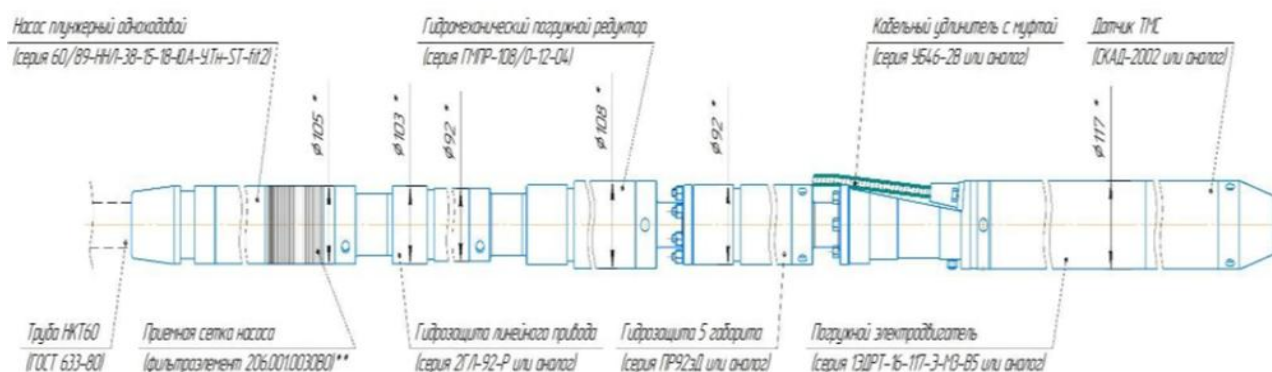


Рисунок 6 – Итоговая компоновка установки бесштанговой добычи нефти

Определена область оптимального применения разработанной технологии. Сравнение технологических критериев применения предлагаемой технологии с другими методами добычи нефти для малодобитного фонда приведено в таблице 7.

Определена общая прогнозируемая экономия при использовании установок и технологии СБДН в сумме около 4,8 млн руб. в год при использовании одной установки взамен станка-качалки СКД-6.

Таблица 7 – Сравнение технологических критериев применения предлагаемой технологии с другими методами добычи нефти для малодебитного фонда

Технологические критерии	Методы добычи нефти для малодебитного фонда			
	Метод бесштанговой добычи нефти на основе ГМПР	Штанговый глубинный насос – станок качалка (УШГН)	Винтовой с погружным приводом	УЭЦН с погружным приводом
Производительность установки по жидкости, м ³ /сут	30	20	30	30
Потребляемая мощность, кВт*час	13-42	7,5-20	12-32	32-45
Развиваемый напор, м	2500-2800	1700	1500	2500
Глубина спуска, м	2500-3000	1800	2000	3000
Газовый фактор, м ³ /м ³	1800	200	1000	200
Количество мех.примесей, мг/дм ³	3000	1200	500	500
Режим работы	постоянный	постоянный	постоянный	периодич.
Кривизна ствола, град./м	5/10	2/10	2/10	2/10

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие основные выводы и рекомендации:

1. На основании анализа опыта эксплуатации малодебитных скважин механизированными способами добычи нефти определены условия работы и требования, предъявляемые к проектируемым глубинным насосным установкам на основе малогабаритности и энергоэффективности. Предложена установка бесштанговой добычи нефти, у которой нет жестких ограничений по глубине спуска плунжерного насоса в скважину (более 3000 м) и позволяющая снизить металлоемкость.

2. Обоснована методика стендовых испытаний плунжерной насосной установки с гидромеханическим редуктором и приводом от погружного электродвигателя для определения рациональных параметров работы насосного оборудования (объемного расхода жидкости, напора, потребляемой мощности и КПД системы).

3. На основании интерпретации результатов проведения опытно-промышленных испытаний системы бесштанговой добычи нефти на месторождениях Татарстана, Азербайджана и Западной Сибири обоснованы критерии успешности применения новой технологии. Предложена методика визуального анализа динамограмм, которая позволяет диагностировать причины недоиспользования насоса и скорректировать режим его работы путем регулировки скорости вращения двигателя и длины хода плунжера. Применение данной методики в рамках ОПИ позволило добиться стабилизации режима работы и увеличения коэффициента подачи в ряде случаев с 0,72 до 0,91.

4. Обоснованы итоговая компоновка и направления внедрения установки бесштанговой добычи нефти. Проведена систематизация параметров – глубина спуска установки (напор), диаметр плунжера, мощность двигателя и оптимальный дебит, которые позволили определить критерии применения БСДН:

- глубина спуска установки до 2500 м;
- газовый фактор до 1800 м³/м³;
- кривизна ствола скважины 5/10 град./м;
- количество мех. примесей до 3000 мг/дм³.

5. Определена общая прогнозируемая экономия при использовании установок и технологии БСДН в сумме около 4,8 млн руб. в год при использовании одной установки взамен станка – качалки СКД-6.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи и материалы конференций в изданиях, индексируемых в Web of Science/Scopus и др. изданиях в МБД:

1. Бахтий С.Н. Погружной привод глубинного насоса с гидромеханическим редуктором / Бахтий С.Н., Лищук А.Н., Нагиев А.Т., Иванов С.В., Степанов Д.О.// Журнал «Нефтяное хозяйство» 2018. - № 07. – С. 114–116.

2. Lishchuk A.N. Technology of rodless oil production / Lishchuk A.N./., Stepanov D.O., Nagiyev A.T., Ivanov S.V., Sibaa Mohamd// Socar Proceedings: Special Issue № 2 (2022), №2, P. 057-063. DOI: 10.5510/OGP2022SI200746

Публикации в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий Высшей аттестационной комиссии (ВАК):

1. Иванов С.В. Новая бесштанговая технология нефтедобычи: плунжерная насосная установка с погружным приводом / Иванов С.В., Лищук А.Н., Молчанов А.В., Нагиев А.Т., Новиков А.Е., Степанов Д.О. // «Бурение и нефть». 2021, № 12. – С.34 -36.

2. Лищук А.Н. Исследование бесштанговой технологии добычи нефтегазового флюида в искривленных скважинах / Лищук А.Н., Леонтьев С.А., Степанов Д.О., Нагиев А.Т. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ.2022, №6 (156). С.73-82.

3. Лищук А.Н. Апробация новой технологии бесштанговой добычи нефти / Лищук А.Н. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2023, №6 (366), С.61-67.

Публикации в прочих научных изданиях:

1. Бахтий С.Н. Погружной привод скважинного штангового насоса с гидромеханическим редуктором / Бахтий С.Н., Лищук А.Н., Нагиев А.Т., Иванов С.В., Степанов Д.О.// «Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности». Москва, ВНИИОЭНГ, №11, 2018, с.28-30.

2. Лищук А.Н. Особенности эксплуатации погружной бесштанговой системы добычи нефти на скважинах, осложненных высоким выносом механических примесей / Лищук А.Н., Леонтьев С.А., Нагиев А.Т.// Научная территория: технологии и инновации. Материалы Международной научно-практической конференции. Тюмень. ТИУ, ноябрь 2023, С.78-83. ISBN 978-5-9961-3193-8.

3. Лищук А.Н. Оптимизация процесса эксплуатации малодебетных скважин, осложненных высоким газовым фактором / Лищук А.Н., Степанов Д.О., Леонтьев С.А.// Научная территория: технологии и инновации. Материалы Международной научно-практической конференции. Тюмень. ТИУ, ноябрь 2023, С.98-103. ISBN 978-5-9961-3193-8.

Патенты на изобретения:

1. Патент РФ № 2728561 С1 Гидромеханический погружной редуктор / Степанов Д.О., Нагиев А.Т., Иванов С.В.// Заявка № 2020102350; дата подачи – 22.01.2020 МПК F04В 47/06; F16Н 39/06. Оpubл. 30.07.2020, Бюл. № 22.

2. Евразийский патент № 041130 Погружная нефтедобывающая установка / Иванов С.В., Лищук А.Н., Молчанов А.В., Нагиев А.Т., Новиков А.Е., Степанов Д.О.// Заявка №202100248, дата подачи – 21.10.2021, дата выдачи 16.09.2022, Оpubл. №09.2022, Бюллетень Евразийского патентного ведомства.

3. Патент РФ № 2750179 С1 Погружная нефтедобывающая установка / Иванов С.В., Лищук А.Н., Молчанов А.В., Нагиев А.Т., Новиков А.Е., Степанов Д.О.// Заявка №2020135000, дата подачи – 26.10.2020, МПК В04F 47/00. Оpubл.23.06.2021, Бюл. № 18.

4. Патент РФ № 2766656 С1 Погружной гидромеханический редуктор / Иванов С.В., Лищук А.Н., Молчанов А.В., Нагиев А.Т., Новиков А.Е., Степанов Д.О.// Заявка №2021117774, дата подачи -18.06.2021, МПК В04F 47\00 Оpubл. 15.03.2022, бюл. № 8.

5. WO 2022/093066 A1 Submersible oil production assembly / Иванов С.В., Лищук А.Н., Молчанов А.В., Нагиев А.Т., Новиков А.Е., Степанов Д.О. // Заявка PCT/RU 2021/ 000452 Оpubл. 05.05.2022, WIPO|PCT.