

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.6
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24.04.2025 № 4

О присуждении **Фролову Сергею Алексеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение энергоэффективности функционирования электротехнических систем приводов штанговых скважинных насосных установок для добычи нефти» по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы принята к защите 14.02.2025, протокол заседания № 2, диссертационным советом ГУ.6 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 06.02.2023 № 154 адм (с изменениями от 31.08.2023 №1193 адм, с изменениями от 30.07.2024 №1212 адм).

Соискатель, Фролов Сергей Алексеевич, 04 июля 1993 года рождения, в 2017 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по специальности 21.05.04. Горное дело.

В период с 2017 по 2022 гг. Фролов С.А. освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 15.06.01. Машиностроение в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Диплом об окончании аспирантуры получен 13.07.2022 г.

В 2024 году зачислен соискателем для сдачи кандидатских экзаменов и подготовки диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

С 2021 года работает ведущим инженером в ООО «НСХ АЗИЯ ДРИЛЛИНГ», г. Пермь, а также является старшим преподавателем кафедры «Горная электромеханика» в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (0,5 ставки, внешний совместитель).

Диссертация выполнена на кафедре «Горная электромеханика» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент **Шишлянников Дмитрий Игоревич**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра «Горная электромеханика», профессор.

Официальные оппоненты:

Хакимьянов Марат Ильгизович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», кафедра электротехники и электрооборудования предприятий, заведующий кафедрой;

Шевырёв Юрий Вадимович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», кафедра энергетики и энергоэффективности горной промышленности, профессор;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет»**, г. Екатеринбург, в своем положительном отзыве, подписанном Бочковым Владимиром Сергеевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой автоматики и компьютерных технологий, Лядским Владимиром Львовичем, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом той же кафедры, и утвержденном Зайцевым Дмитрием Викторовичем, доктором физико-математических наук, проректором по научной работе, указала, что Фроловым Сергеем Алексеевичем разработана методика и выполнена сравнительная оценка эффективности функционирования электромеханических и электрогидравлических приводов установок штанговых скважинных насосов (УШСН) в условиях нефтяных промыслов по критерию удельных затрат энергии на добычу скважинной жидкости. Экспериментально доказано, что серийно выпускаемые электрогидравлические приводы (ЭГП) УШСН с пневматическим и электродинамическим типами уравнивания характеризуются низкой энергоэффективностью, то есть высокими удельными затратами энергии на добычу скважинной жидкости, превышающими базовые удельные затраты энергии, полученными при оснащении испытываемых УШСН традиционными балансирными станками-качалками (СК), на 13,4...121,9 %. Использование приводов УШСН с широкими диапазонами регулирования параметров позволяет обеспечить рациональные режимы работы скважинного оборудования, что при прочих равных условиях, в сравнении с традиционными электромеханическими приводами (ЭМП) – балансирными СК с асинхронными электродвигателями, обуславливает уменьшение пиковых нагрузок в точке подвеса колонны насосных штанг и повышает производительность скважинного насоса.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 6 печатных работах, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы, в том числе 2 статьи - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы

основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 1 статье - в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Общий объем – 7,5 печатных листа, в том числе 3,7 печатных листов - соискателя.

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы:

1. Фролов, С. А. Повышение энергоэффективности электроприводов штанговых насосных установок малодебитных скважин / **С. А. Фролов, Д. И. Шишлянников** // Промышленная энергетика. – 2024. – № 6 – С. 14–21 (№2256 Перечня ВАК ред. 10.06.2024).

Приведены сведения об эксплуатации УШСН, оснащенных электромеханическими приводами – балансирными СК. Приведены результаты опытно-промышленных сравнительных испытаний УШСН, оснащенной балансирным СК с классическим асинхронным и перспективным вентильным приводными двигателями и интеллектуальной станцией управления. Доказана высокая энергоэффективность УШСН с вентильным приводным электродвигателем и четырехпериодным управлением.

2. Фролов, С.А. Совершенствование электрогидравлического привода установок штанговых скважинных насосов/ **С. А. Фролов, Д.И. Шишлянников** // Известия вузов. Электромеханика. – 2024. – Т. 67. № 3 – С. 83-91 (№1268 Перечня ВАК ред. 10.06.2024).

Выявлены факторы, сдерживающие внедрение и широкое распространение перспективных ЭГП УШСН на нефтяных промыслах. Описаны технические решения, направленные на повышение надежности и энергоэффективности функционирования ЭГП УШСН с электродинамическим уравниванием.

Публикация в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus

3. Оценка энергоэффективности функционирования и увеличение наработки гидравлических приводов установок штанговых скважинных насосов в осложненных условиях эксплуатации / Д. И. Шишлянников, В. Ю. Зверев, А. Г. Звонарёва, **С. А. Фролов**, А. А. Иванченко // Записки Горного института. – 2023. – Т. 261. – С. 349–362.

Обоснована необходимость совершенствования приводов УШСН, эксплуатирующихся в условиях малodeбитных и осложненных скважин. Для осложненных условий нефтедобычи перспективно применение электрогидравлического привода УШСН, позволяющего подбирать и устанавливать рациональные режимы работы скважинного оборудования. Приведены результаты сравнительных испытаний традиционных электромеханических и перспективных электрогидравлических приводов УШСН с пневматическим и электродинамическим типами уравнивания.

Публикации в прочих изданиях:

4. Определение технического состояния элементов установок штанговых скважинных насосов по результатам ваттметрографирования / Н. Н. Софьина, Д. И. Шишлянников, **С. А. Фролов**, С. Н. Кривощёков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2020. – № 3 (117). – С. 21–26.

Обоснована актуальность разработки и внедрения автоматизированных программно-регистрирующих систем контроля параметров работы и диагностирования насосных установок нефтяных промыслов. Проанализированы статистические данные об аварийных отказах балансирных станков-качалок УШСН и причинах их возникновения. Изложены основные положения методики анализа ваттметрограмм приводных двигателей УШСН, описан характер проявления основных дефектов погружных насосов и балансирных станков-качалок.

5. Совершенствование технологии монтажа гидравлических приводов штанговых скважинных насосных установок / Д. И. Шишлянников,

В. Ю. Зверев, **С. А. Фролов**, М. М. Тяктев // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2019. – № 10. – С. 44–49.

Выполнен расчет величины смещения треногой опоры электрогидравлического привода штанговой скважинной насосной установки относительно устья скважины и изменения распределения нагрузок на опорные плиты при деформации грунта. Предложены технические решения по совершенствованию технологии и способов монтажа электрогидравлических приводов штанговых скважинных насосных установок.

Патенты:

6. Патент 2825902 Российская Федерация, МПК E21B 43/00 (2006.01), F04B 47/04 (2006.01). Гидропривод штанговой скважинной насосной установки: № 2024102124; заявлено 29.01.2024; опубликовано 02.09.2024 / Д. И. Шишлянников, В. К. Картавцев, **С. А. Фролов**, А. А. Иванченко, Д. И. Дремина; заявитель ПНИПУ. Бюл. № 25. – 10 с.

Предложен электрогидравлический привод, обеспечивающий повышение энергоэффективности и надежности функционирования УШСН для скважинной добычи нефти.

Апробация работы проведена на научных конференциях международного и всероссийского уровней:

– всероссийская конференция «Проблемы разработки углеводородных и рудных полезных ископаемых» (г. Пермь, 2019, 2020 гг.);

– международная научно-практическая конференция «Горная и нефтяная электромеханика» (г. Пермь, 2021, 2024 г.);

– международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В. Р. Кубачека» (г. Екатеринбург, 2020, 2021, 2022, 2024 гг.);

– международный симпозиум им. академика М. А. Усова студентов и молодых ученых (г. Томск, 2021 гг.);

– онлайн-форум ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «Инновации для повышения эффективности сопровождения нефтегазовых активов» (г. Москва, 2024).

В диссертации Фролова Сергея Алексеевича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заведующего кафедрой горных машин и комплексов ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», к.т.н., доцента **К.А. Ананьева**; заведующей отделом ремонта горной техники ООО «Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства», д.т.н. **Л.И. Андреевой**; профессора кафедры «Подъемно-транспортных машин и роботов» ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», д.т.н., доцента **В.С. Великанова**; начальника горного отдела Филиала АО «ВНИИ Галургии» в г. Санкт-Петербург **Д.С. Грибова**, и начальника отдела электроснабжения и автоматизации **Р.А. Хузина**; доцента кафедры горных машин и электромеханических систем ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», к.т.н. **И.А. Иова**; заместителя директора по научной работе «ГИ УрО РАН», д.т.н., члена-корреспондента РАН **Л.Ю. Левина**; инженера-конструктора 1 категории АО ВО «Электроаппарат», к.т.н. **А.М. Ватлиной**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. Следует пояснить, в чём причина появления динамических нагрузок при работе электрогидравлического привода УШСН с динамическим уравниванием? Как эти динамические нагрузки фиксируются на графике изменения мощности привода? (**к.т.н. К.А. Ананьев**);

2. В автореферате не приведен алгоритм управления электрогидравлическим приводом УШСН, разработанный автором (**к.т.н. К.А. Ананьев**);

3. Автором не выполнена оценка надежности приводов УШСН с вентильными двигателями (**д.т.н. Л.И. Андреева**);

4. По нашему мнению, первое научное положение не несет научной информации (**д.т.н. В.С. Великанов**);

5. Не указана доля личного участия автора в опубликованных совместных работах по теме диссертации (**д.т.н. В.С. Великанов**);

6. С чем связана (согласно таблицы 2 автореферата) значительная продолжительность проведения замеров (42 сут) для УШСН с электрогидравлическим приводом (ЭГП) типа НПК-10-8-6, в сравнении с продолжительностью выполнения аналогичных замеров для УШСН с ЭМП типа СК-8 (6 и 9 суток) и УШСН с ЭГП ГПШСН 80-3,5 «Гейзер» (5 сут)? (**Д.С. Грибов и Р.А. Хузин**);

7. Сравнительный анализ энергоэффективности функционирования УШСН проведен только для электрогидравлических приводов с пневматическим и электродинамическим уравниванием. Почему не рассмотрены другие типы приводов УШСН, например, безбалансирные, цепные, приводы с одноплечим балансиrom? (**к.т.н. И.А. Иов**);

8. Текст автореферата и рисунок 8 не дают понимания, каким образом устанавливаются датчики положения на конструктивных элементах приводов УШСН (**к.т.н. И.А. Иов**);

9. Необходимо пояснить термины «интеллектуальная станция управления» и «информативные телеметрические системы» (**д.т.н. Л.Ю. Левин**);

10. Отсутствует описание алгоритма управления электрогидравлическим приводом УШСН, предложенным автором (**д.т.н. Л.Ю. Левин**).

11. В автореферате диссертации в таблице 1 приведено значение плотности жидкости, с которой проводилось исследование автора. Не указано, как влияет, если влияет, обводненность нефти на эффективность предлагаемой системы. Вероятно, существует диапазон перекачиваемой

жидкости, в котором целесообразно и энергетически выгодно использовать данную систему (к.т.н. А.М. Ватлина).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана экспериментальная методика сравнительной оценки энергоэффективности функционирования перспективных приводов штанговых скважинных насосных установок в условиях нефтяных промыслов по критерию удельных энергозатрат на добычу скважинной жидкости;

предложены перспективные схемы приводов установок штанговых скважинных насосов для добычи нефти и алгоритмы их функционирования;

доказано влияние особенностей конструкции и режимов работы электротехнических систем приводов штанговых скважинных насосных установок на величину и характер изменения нагрузок на элементы рассматриваемых приводов и энергоэффективность их функционирования.

введена уточненная трактовка понятия «энергоэффективность функционирования систем приводов», учитывающая условия эксплуатации штанговых скважинных насосных установок при добыче нефти из малодебитных и осложненных скважин.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны возможность повышения эффективности функционирования штанговых скважинных насосных установок при эксплуатации осложненных и малодебитных нефтяных скважин использованием перспективных систем приводов, обеспечивающих регулирование режимных параметров работы насосных установок в широких диапазонах;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

использованы также оригинальные методики экспериментальных исследований, исследования выполнены с использованием оборудования, прошедшего государственную поверку;

изложены методические подходы к оценке эффективности функционирования приводов насосных установок нефтяных промыслов по критерию обеспечения минимальных удельных затрат энергии на добычу пластовой жидкости, сформулированы технические предложения по увеличению наработки систем приводов штанговых скважинных насосных установок;

раскрыты методические подходы к обоснованию рациональных конструктивных и режимных параметров работы систем приводов установок штанговых скважинных насосов, применяющихся при эксплуатации малodeбитных и осложненных нефтяных скважин;

изучены закономерности формирования нагрузок на элементы систем приводов штанговых скважинных насосных установок с механическими и гидравлическими силовыми передачами;

проведена модернизация структуры и алгоритма функционирования электрогидравлического привода штанговой скважинной насосной установки с электродинамическим уравниванием силовой передачи.

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

разработаны и внедрены в 2024 году в деятельности ООО «НСХ АЗИЯ ДРИЛЛИНГ» (г. Пермь) методики контроля режимных параметров и оценки энергоэффективности функционирования штанговых скважинных насосных установок для добычи нефти из малodeбитных и осложненных скважин (акт о внедрении от 16.12.2024); исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2023-0005) в рамках НИР по теме «Фундаментальные основы рациональной разработки трудноизвлекаемых нефтяных запасов на основе создания цифровых двойников объектов нефтегазового комплекса»;

определены перспективы использования результатов исследований при разработке алгоритмов регулирования режимных параметров систем приводов штанговых скважинных насосных установок с гидравлическими и механическими силовыми передачами, а также при оснащении вентильными двигателями;

создан методический инструментарий и обоснованы технические решения по повышению энергоэффективности функционирования электротехнических систем приводов установок штанговых скважинных насосов при добыче нефти в осложненных условиях, разработаны методики контроля нагруженности и энергоэффективности функционирования приводов установок штанговых скважинных насосов;

представлены предложения по использованию результатов исследования компаниями, осуществляющими эксплуатацию и производство установок штанговых скважинных насосов для добычи нефти в осложненных условиях; выводы и рекомендации могут быть применены при оценке нагруженности и эффективности функционирования приводов установок штанговых скважинных насосов для добычи нефти.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: результаты работы получены с применением широко апробированных, а также оригинальных методик экспериментальных исследований, осуществленных с использованием оборудования, прошедшего государственную поверку; относительная погрешность экспериментальных данных не превышает 5 %;

теория построена на современных исследованиях процесса формирования нагрузок и оценки энергоэффективности функционирования приводов установок штанговых скважинных насосов, согласуется с общепризнанными представлениями о закономерностях работы приводов нефтепромыслового оборудования;

идея базируется на обобщении передового опыта конструирования и эксплуатации оборудования для скважинной добычи нефти, а именно на основе обобщения опыта конструирования и эксплуатации регулируемых

приводов штанговых скважинных насосных установок для добычи нефти из осложненных и малодебитных скважин;

использованы общенаучные методы сравнения и анализа полученных автором результатов с ранее опубликованными результатами опытно-промышленных испытаний перспективных приводов установок штанговых скважинных насосов с гидравлическими и механическими силовыми передачами, вентильными и асинхронными приводными электродвигателями;

установлено качественное и количественное совпадение полученных результатов с результатами, ранее опубликованными в технической литературе и периодической печати по вопросам конструирования и эксплуатации приводов насосных установок для скважинной добычи нефти;

использованы современные методики сбора, обработки и анализа статистической и экспериментальной информации в области эксплуатации систем приводов штанговых скважинных насосных установок для добычи нефти;

личный вклад соискателя состоит в анализе научной литературы по теме исследования; постановке цели и задач диссертационного исследования; получении исходных данных и разработке методики экспериментальных исследований; алгоритм функционирования электрогидравлического привода штанговой скважинной насосной установки, варианты конструктивного исполнения электрогидравлического привода разработаны при непосредственном участии автора; организация внедрения результатов диссертационной работы, подготовка к публикации результатов исследований осуществлены в равной степени с соавторами.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Фролов С.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 24.04.2025 диссертационный совет принял решение присудить **Фролову С.А.** ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи повышения энергоэффективности функционирования электротехнических систем приводов штанговых скважинных насосных установок для добычи нефти из малодебитных и осложненных скважин, что имеет существенное значение для развития нефтедобывающей отрасли страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 7 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета



Назарычев

Александр Николаевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Устинов Денис Анатольевич

24.04.2025 г.