

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук
доцента Хакимьянова Марата Ильгизовича
на диссертацию Фролова Сергея Алексеевича на тему «Повышение
энергоэффективности функционирования электротехнических систем приводов
штанговых скважинных насосных установок для добычи нефти»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Значительная часть нефтедобывающих скважин в России и других странах эксплуатируется установками штанговых скважинных насосов (УШСН), для привода которых используются трехфазные асинхронные электродвигатели. Нефтедобывающие предприятия обслуживают тысячи скважин, распределенных на обширных труднодоступных территориях. Значительная часть УШСН работает в несбалансированном режиме с повышенными потерями мощности при добыче скважинной жидкости. Электроприводы УШСН в значительной степени недогружены, работают с низкими значениями КПД и коэффициента мощности. Это приводит к ощутимому перерасходу электроэнергии, частым отказам оборудования. Повысить эффективность эксплуатации скважин УШСН можно путем разработки и внедрения новых типов приводов, способных регулировать режимы работы в широких пределах и обеспечивающих меньшие потери.

Диссертационная работа Фролова С.А. направлена на решение указанной проблематики.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Теоретически установлено, что 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 – балансирными станками-качалками (СК) с асинхронными электродвигателями, обуславливает уменьшение пиковых нагрузок и повышает производительность скважинного насоса.

2. Впервые разработана методика и выполнена сравнительная оценка эффективности электромеханических и электрогидравлических приводов (ЭГП) УШСН в условиях нефтяных промыслов по критерию удельных затрат энергии на добычу скважинной жидкости. Экспериментально доказано, что серийно

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-93 от 01.04.25
АУ УС

выпускаемые ЭГП УШСН с пневматическим и электродинамическим типами уравнивания характеризуются низкой энергоэффективностью.

3. Доказано, что повышение эффективности функционирования УШСН по критерию удельных затрат энергии на добычу скважинной жидкости до 13% возможно посредством использования систем вентильных приводов.

3. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость работы заключается в установлении особенностей влияния конструкции и режимов работы систем приводов УШСН на величину и характер изменения нагрузок на элементы систем приводов, производительность и энергоэффективность функционирования УШСН по критерию удельных затрат энергии на добычу скважинной жидкости.

Практическая значимость работы заключается в обосновании технических решений по повышению энергоэффективности функционирования электротехнических систем приводов УШСН при скважинной добыче нефти. Разработанные методики контроля нагруженности и энергоэффективности функционирования ЭГП УШСН использованы сотрудниками ООО «НСХ АЗИЯ ДРИЛЛИНГ» при совершенствовании приборов мониторинга параметров работы нефтепромыслового оборудования.

4. Степень обоснованности основных положений, выводов и заключений

Достоверность результатов работы обеспечивалась применением широко апробированных, а также оригинальных методик экспериментальных исследований, осуществленных с использованием оборудования, прошедшего государственную поверку.

Основные результаты работы доложены на международных и российских конференциях различного уровня. Результаты диссертации в достаточной степени опубликованы в 5 печатных работах, в том числе в двух статьях – 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; в одной статье – в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен один патент на изобретение.

5. Научные результаты и их ценность

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, трёх приложений, общим объемом 153 страницы печатного текста, содержит 8 таблиц и 64 рисунка, список литературы из 114 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе обобщены сведения о конструкции и области применения установок для скважинной добычи нефти. Установлено, что при эксплуатации малодебитных и осложненных нефтяных скважин рациональным является применение УШСН. Рассмотрены структура и конструктивные особенности электротехнических систем приводов УШСН.

Во второй главе выполнен анализ кинематических параметров электромеханических (ЭМП) и электрогидравлических (ЭГП) приводов УШСН. Проведены теоретические исследования процесса формирования нагрузок на элементы систем электроприводов УШСН с гидравлической и механической силовыми передачами. Описаны подходы к оценке энергоэффективности при функционировании УШСН. Разработана математическая модель в программной среде MathCAD и выполнен расчет кинематических и силовых параметров работы ЭГП и ЭМП УШСН. Показано, что движение ТПКШ УШСН, оснащенной традиционным ЭМП, характеризуется практически непрерывным изменением ускорений и скоростей.

Третья глава диссертации посвящена методике экспериментальных исследований по оценке силовых параметров и энергетических показателей работы систем ЭГП УШСН. Экспериментальные исследования выполнены в условиях нефтяных промыслов и совместно со специалистами компании ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь». Исследования выполнялись при участии сотрудников компании ООО «НПП «РОС» (г. Пермь). Экспериментально доказано, что выпускаемые отечественными предприятиями 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 ЭМП, на 13,4...121,9 %.

Четвёртая глава диссертации посвящена обоснованию способов увеличения наработки и повышения энергоэффективности функционирования ЭГП УШСН на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований. Доказано, что применение систем ЭГП УШСН, функционирующих в соответствии с разработанными схемами и алгоритмом управления, обеспечивает снижение динамических нагрузок на элементы приводов и уменьшение влияния работы привода на качество электроэнергии в сети нефтяного промысла посредством аккумулирования и использования

рекуперированной электроэнергии для работы вспомогательных и периферийных устройств УШСН.

В пятой главе приведена методика, описан порядок проведения и выполнен анализ результатов экспериментальных исследований по оценке энергоэффективности функционирования ЭМП УШСН с вентильным электродвигателем (ВД). Доказано, что использование в системах приводов вентильных двигателей с роторами на 11 постоянных магнитах и интеллектуальных станций управления, а также обеспечение жесткой кинематической связи между приводным вентильным двигателем и механической передачей, позволяет повысить эффективность функционирования ЭМП УШСН (балансирных СК) по критерию удельных затрат энергии на добычу скважинной жидкости до 13%.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы.

В приложениях соискатель привел программу расчета кинематических и силовых параметров работы приводов штанговых скважинных насосных установок и материалы, относящиеся к внедрению.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, опубликованные статьи в полной мере отражают основные положения и результаты диссертационного исследования.

6. Вопросы и замечания по работе

1. В диссертации рассматривается использование для привода штанговых скважинных насосов гидравлических установок и вентильных двигателей. При этом отсутствует систематизация способов и методов повышения энергоэффективности УШСН. Не рассматриваются другие типы приводов, таких как цепные, линейные, станки-качалки с гидравлическим уравниванием, приводы с погружными линейными электродвигателями.

2. В результате исследования работы ЭГП автор делает вывод, что они имеют большее удельное энергопотребление, чем традиционные станки-качалки. В итоге не понятно, в каких случаях и на каких скважинах будет рационально использовать ЭГП? И какие преимущества обеспечат ЭГП, если затраты электроэнергии возрастут?

3. Для обозначения коэффициента мощности почему-то используется буква λ вместо общепринятого в электротехнике и электроэнергетике обозначения $\cos \varphi$.

4. При описании методологии измерения ваттметрограмм автор путем перемножения мгновенных значений тока и напряжения с последующим суммированием получает активную мощность (формула 4 в автореферате). Потерян коэффициент мощности $\cos \varphi$ или λ .

5. Для управления вентильным приводом использовалась зарубежная станция управления VLT-SALT фирмы Danfoss. Следовало бы использовать отечественную станцию управления, так как в зарубежных неизвестны заложенные алгоритмы управления, ограничены возможности по их изменению, возможно считывание далеко не всех параметров.

6. В приведенной на рисунке 1.23 структурной схеме станции управления вентильным двигателем есть блоки «Программируемый логический контроллер» и «Контроллер управления». Непонятно, чем отличаются их функции, почему нельзя обойтись одним контроллером, возложив на него функции обоих устройств?

7. В подразделе 2.4 «Оценка качества электроэнергии при работе систем приводов УШСН» приводятся известные сведения о порядке и нормах оценки несинусоидальности напряжения в электрических сетях. Нет привязки к приводам УШСН. И вывод 6 по главе 2 в связи с этим тривиален: «Оценка негативного влияния частотных преобразователей систем приводов УШСН на параметры электроэнергии в питающей сети возможна посредством регистрации высших гармоник в сигналах напряжения».

8. Непонятно, почему при обрыве насосных штанг (ваттметрограмма на рисунке 3.5) приводной электродвигатель не уходит в генераторный режим?

Высказанные замечания никак не снижают качество и оригинальность подхода Фролова С.А. к решению поставленных задач.

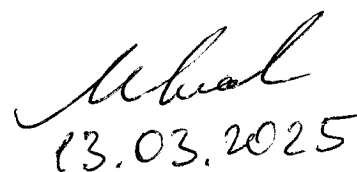
7. Заключение

Оценивая уровень работы в целом, считаю, что диссертация Фролова С.А. «Повышение энергоэффективности функционирования электротехнических систем приводов штанговых скважинных насосных установок для добычи нефти», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой и вносит существенный вклад в решение важной научно-технической задачи повышения эффективности функционирования электротехнических комплексов УШСН.

Диссертация по своим задачам, содержанию, научно-техническому направлению и выполненным исследованиям соответствует п. 3 «Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления» и п. 4 «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов» области исследований паспорта специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Диссертация **Фролова Сергея Алексеевича** «Повышение энергоэффективности функционирования электротехнических систем приводов штанговых скважинных насосных установок для добычи нефти», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении учёных степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм., а её автор, **Фролов Сергей Алексеевич**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

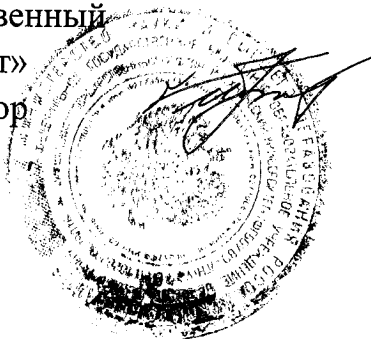
Официальный оппонент
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой электротехники
и электрооборудования предприятий
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»


13.03.2025

Хакимьянов
Марат Ильгизович

Адрес: 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1 тел.: (347) 2420759;
e-mail: joss-22@yandex.ru

Подпись Хакимьянова М.И.
заверяю, проректор по научной
и инновационной работе
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»
доктор технических наук, профессор



И.Г. Ибрагимов