

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора технических наук  
профессора **Ковалева Владимира Захаровича**

на диссертацию соискателя Текле Самуэль Исаак по теме «Development and research on fault diagnosis and energy efficiency improvement methods for sucker rod pumps driven by an induction motor / Разработка и исследование методов диагностики и повышения энергоэффективности штанговых глубинно-насосных установок с приводом от асинхронного двигателя», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

### **Актуальность.**

Отрасль добычи нефти является определяющей для Российской и мировой экономики. Одновременно эта отрасль своим ростом стимулирует как развитие производства электрической энергии, так и работы по созданию энергосберегающих технологий по извлечению нефтесодержащей жидкости. Взаимодействие и взаимовлияние физически разнородных подсистем в комплексе «скважина – штанговая глубинно-насосная установка» приводит к неявным зависимостям потребления электрической энергии и производительности штанговых глубинно-насосных установок (далее ШГНУ). в рабочих режимах.

Это обстоятельство определяет научную проблему и актуальность диссертационной работы Текле С.И., направленную на повышение энергетической эффективности ШГНУ.

Инструментом разрешения выявленных автором противоречий принят современный аппарат комплексного компьютерного моделирования электропривода ШГНУ с имитацией его основных рабочих состояний.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1. Разработана имитационная модель ШГНУ в среде MatLab, воспроизводящая типовые режимы работы штангового насоса
2. Разработана модель диагностики основных неисправностей штангового насоса на основе диаграмм мощности двигателя и метода опорных векторов (SVM) путем построения обучающей выборки с помощью имитационной модели штангового насоса.
3. Предложена специальная стратегия формирования траектории тока намагничивания в системе векторного управления частотно-регулируемым электроприводом штангового насоса с асинхронным двигателем, обеспечивающая определённое снижение энергопотребления.

4. Предложена структура симулятора реального времени электропривода ШГНУ в среде LabVIEW и на её основе создан электромеханический стенд для исследования динамических режимов ШГНУ.

5. Предложена и реализована стратегия управления нагрузочной машиной электромеханического стенда для имитации режимов работы штангового насоса (в масштабе).

**Теоретическая значимость работы** состоит в развитии математической и компьютерной модели электропривода штанговых глубинно-насосных установок, которая позволяет выполнять детальное исследование различных режимов работы и состояний ШГНУ и предлагается для решения задач оптимизации энергопотребления и построения обучающей выборки ваттдиаграмм электропривода при реализации компьютерных методов диагностики.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке алгоритмов диагностики и структуры симулятора ШГНУ, которые могут быть использованы при построении испытательных стендов для отработки функций и отладки интеллектуальных станций управления ШГНУ. Кроме того, симулятор ШГНУ можно использовать в будущих исследованиях, направленных на повышение эффективности работы электроприводов штанговых насосов.

**Апробация работы и публикации.** Основные результаты по теме диссертации доложены на 6 конференциях международного уровня и опубликованы в 11 печатных изданиях, 1 из которых в журналах, рекомендованных ВАК, 2 — в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 8 — в тезисах докладов конференций. Зарегистрирована 1 программа для ЭВМ.

**Степень обоснованности основных положений, выводов и заключений.**

Работа включает в себя введение, 4 главы, заключение, библиографический список из 131 наименования и 2 приложения, изложенных на 156 страницах текста, содержит 88 рисунков и 10 таблиц.

**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 диссертации проведен обзор некоторых методов добычи нефти. Обзор дает представление о достоинствах штангового насоса, что делает его предпочтительным выбором в нефтяной промышленности. Кроме того, в среде программирования Matlab разработана интегрированная имитационная модель штангового насоса. Интегрированная гидродинамическая модель объединяет модели первичного двигателя, наземной системы передачи, насосной установки, колонны штанговых насосов, подземного насоса и коллектора. Для нормального рабочего состояния смоделированное перемещение полированного штока, скорость, ускорение, нагрузка и коэффициент крутящего момента демонстрируют общие характеристики насосной установки. Разница между перемещениями полированного штока и плунжера показывает влияние упругого характера колонны насосных штанг. Также показаны чистая нагрузка крутящего момента коробки передач и ее реакция. Характеристики нормального рабочего состояния были описаны смоделированной динамометрической картой, имеющей форму типичной динамометрической карты для нормального рабочего состояния.

Во второй главе диссертации дан подробный обзор системы контроля и диагностики штангового глубинного насоса. Подробно обсуждаются вопросы, связанные с выделением признаков и требованием к тренировочному набору, которые ограничивают продвижение метода компьютерной диагностики, и предлагаются решения, способствующие использованию кривой мощности двигателя в качестве источника для диагностической системы. Разработана диагностическая модель, основанная на кривой мощности двигателя и методе опорных векторов, и симуляционные тесты показали удовлетворительные результаты. Программы для алгоритма SVM, классификации и выделения признаков могут быть написаны на разных языках программирования. Следовательно, это повышает гибкость предлагаемого метода для использования в онлайн-приложениях.

Третья глава диссертации посвящена формулировке специальной процедуры нахождения траектории тока намагничивания, которая может быть использована для управления системой векторного управления асинхронным двигателем, приводящим в действие штанговый насос, с целью снижения энергопотребления. В формулировке используются минимальный и максимальный токи, создающие поток. Эффективность предложенной стратегии оценивается с помощью численного моделирования, и результаты показывают, что часть энергии можно сэкономить.

Четвёртая глава диссертации посвящена разработке системы имитации штанговых насосов. Для имитации динамики штангового насоса в уменьшенном масштабе разработаны электромеханический испытательный стенд, модель штангового насоса в реальном времени и стратегия управления погрузочной машиной. Электрические и механические измерения используются для оценки предложенной эмулирующей системы на основе электромеханического испытательного стенда, поскольку можно рассчитать входную/выходную мощность и динамометрическую карту. Полученные результаты подтверждают предложенную стратегию.

В заключении описаны основные результаты диссертационной работы.

В приложение включены копия Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ «Симулятор ШГНУ» и интерфейс программы, а также копия Акта о внедрении результатов работы.

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

**Вопросы и замечания**, возникшие после прочтения диссертации:

1. Необходимо уточнить области применения разработанной вами имитационной модели штангового насоса.
2. Как вы оцениваете использование методов на основе частотной и временной областей для извлечения полезных характеристик из сигнала мощности двигателя?
3. Требует уточнения, почему вы определили потери энергии за один цикл работы насоса как показатель производительности предлагаемого метода повышения энергоэффективности?
4. Необходимо детализировать, какими возможностями проведения испытаний или других приложений обладает представленный в работе электромеханический испытательный стенд.
5. Оцените возможность реализации предложенного РHiL-симулятора ШГНУ в эксперименте? Какими достоинствами он обладает в сравнении с электромеханическим испытательным стендом?

Сказанное никак не снижает качество и оригинальность подхода Текле Самуэль Исаак к решению поставленных задач.

**Общая оценка работы:** Анализ содержания диссертации Текле С. И. показывает, что работа написана логически последовательно, корректным с научной и технической точки зрения языком, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе автора в науку, и соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «УрФУ», в том числе п. 9, 10 и 14.

Оценивая уровень работы в целом, считаю, что диссертация Текле С. И. «Development and research on fault diagnosis and energy efficiency improvement methods for sucker rod pumps driven by an induction motor / Разработка и исследование методов диагностики и повышения энергоэффективности штанговых глубинно-насосных установок с приводом от асинхронного двигателя», 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, работа соответствует паспорту научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, а её автор – Текле Самуэль Исаак, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

**Официальный оппонент:**

профессор Политехнической школы  
ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»,  
доктор технических наук, профессор



Ковалев Владимир Захарович

«26» 04 2023 г.

628012, Ханты-Мансийский автономный округ - Югра,  
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, д.16  
Политехническая школа,  
Тел. +7(3467)377-000, +7 912 901 02 06,  
e-mail: vz\_kovalev@mail.ru

