

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора технических наук,

доцента Петроченкова Антона Борисовича

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»

### **Структура и объем диссертационной работы**

По структуре научная работа соответствует требованиям, которые предъявляются к кандидатским диссертациям. Она изложена техническим языком в ясном и понятном стиле. Основные выводы и положения аргументированы. По главам и по самой работе имеются выводы и заключение. Работа изложена на 156 страницах, содержит 88 иллюстраций, 10 таблиц, 2 приложения.

### **Актуальность темы**

Нефтедобывающая отрасль является одной из ключевых для мировой экономики. Научная проблема и актуальность диссертационной работы Текле С.И. определяются необходимостью решений по повышению энергоэффективности штанговых глубинно-насосных установок (ШГНУ) на основе рациональных параметров режимов электротехнологического оборудования. Параметры эксплуатации технологического и силового электрооборудования, различающегося по режиму работы, оказывают существенное влияние на энергетическую эффективность процесса добычи нефти, следовательно, вопросы повышения энергоэффективности актуальны.

Автором рассмотрены вопросы моделирования электрического и механического оборудования и получения обучающей выборки ваттдиаграмм электропривода с разработкой диагностической модели основных рабочих состояний ШГНУ. Помимо этого, значительное внимание уделено разработке симуляторов реального времени ШГНУ.

**В первой главе** разработана интегрированная имитационная модель ШГНУ, объединяющая 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. Для описания характеристик нормального рабочего состояния смоделирована динамометрическая карта.

**Во второй главе** диссертации представлен анализ системы контроля и диагностики штангового глубинного насоса. Выделены признаки и требования к получению набора осциллограмм. Разработана и верифицирована на симуляционных тестах диагностическая модель, основанная на кривой мощности двигателя и методе опорных векторов (SVM). Алгоритм SVM и программы классификации и выделения признаков могут быть представлены на различных языках программирования и, как следствие, включены в состав интеллектуальных станций управления ШГНУ различных изготовителей.

**В третьей главе** модель асинхронного двигателя в объединенной модели штангового насоса модифицирована для учета влияния потерь в стали. Разработана специальная процедура нахождения оптимальной траектории тока намагничивания для заданных траекторий крутящего момента и скорости. Для

проверки данного способа разработана в среде MATLAB схема векторного управления системой «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» с замкнутым контуром тока намагничивания.

**Четвёртая глава** посвящена разработке имитационных моделей ШГНУ. Разработанный экспериментальный электромеханический стенд позволяет проводить лабораторные испытания электропривода штангового насоса в реальном времени с системой управления нагрузочной машиной, воспроизводящей нагрузки штанговых насосов. Симулятор реального времени электропривода ШГНУ также позволяет эмулировать типовые неисправности насоса, такие, как воздействие газа, утечка в нагнетательном клапане, утыкание плунжера в верхней или нижней мертвых точках.

**Научная новизна диссертации** заключается в следующем:

- разработана имитационная модель ШГНУ в среде MATLAB, воспроизводящая типовые режимы работы штангового насоса;
- 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;
- модифицирован метод расчёта оптимального тока намагничивания асинхронного частотно-регулируемого двигателя в установившемся режиме с целью генерации оптимальной траектории тока в динамических режимах нагружения двигателя;
- предложена структура симулятора реального времени электропривода ШГНУ в среде LabVIEW и на её основе создан электромеханический стенд для исследования динамических режимов ШГНУ (в масштабе).

**Теоретическая значимость работы** состоит в развитии математических и имитационных моделей электропривода штанговых глубинно-насосных

установок, которые позволяют выполнять исследование различных режимов работы и состояний ШГНУ и получать обучающую выборку ваттдиаграмм электропривода при реализации компьютерных методов диагностики.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке структуры симулятора ШГНУ, которая может быть использована для построения на её основе испытательного стенда для отработки функций и отладки интеллектуальных станций управления ШГНУ.

#### **Рекомендации по использованию результатов работы**

Диссертация имеет явно выраженную практическую направленность. Симулятор ШГНУ можно использовать в исследованиях, направленных на повышение эффективности работы электроприводов штанговых насосов.

#### **Достоверность результатов работы**

Корректность и правильность полученных результатов не вызывает сомнений. Диагностика состояния ШГНУ основана на анализе диаграммы мощности двигателя, характеристики которой непосредственно связаны с условиями работы глубинного насоса. Диаграмма мощности является периодической (с периодом, равным длительности одного цикла работы насоса) и отражает влияние различных сил, действующих на поверхностные и подземные компоненты оборудования в течение двойного хода полированного штока. Исследование и разработка метода оптимизации энергопотребления основана на минимизации потерь в двигателе за счет воздействия на поток ротора, что является широко распространенным приемом. Результаты эксперимента на электромеханическом испытательном стенде подтверждают точность разработанной имитационной модели.

## **Полнота опубликования и апробация основных результатов диссертации**

По теме диссертации опубликовано **11** статей в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, включая **10** статей в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и WoS, **1** программа для ЭВМ. Кроме этого, работа докладывалась на 6 конференциях международного уровня. Для научной работы уровня кандидатской диссертации этого вполне достаточно.

### **Соответствие паспорту специальности.**

Диссертация соответствует специальности 2.4.2. – «Электротехнические комплексы и системы», следующим пунктам:

п.1. Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования;

п.3. Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления;

п.4. Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов.

**Автореферат** написан ясным и понятным языком. Содержание автореферата соответствует тексту диссертации.

## **Вопросы и замечания по работе**

1. Подходит ли разработанная имитационная модель штангового насоса для всех типов скважин? Если нет, то какие соображения вы предлагаете?

2. В производственной практике встречаются и другие неисправности рабочих состояний, не представленные в данной диссертации. Как можно использовать модель для получения других рабочих состояний неисправностей?

3. Почему выбран метод опорных векторов? Рассматривались ли другие методы машинного обучения?

4. Почему исследование повышения энергоэффективности основано на поиске особой траектории тока намагничивания для минимизации потерь в двигателе?

5. Почему модель штангового насоса в реальном времени разделена на медленную подсистему и более быструю подсистему? Какие приложения вы можете предложить для разработанной системы имитации штангового насоса?

## **Заключение по диссертации**

Указанные замечания не снижают ценности диссертационного исследования.

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.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:**

заведующий кафедрой «Микропроцессорные средства автоматизации» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,  
доктор технических наук, доцент



Петроченков Антон Борисович

«25» апреля 2023 г.

614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к.228,  
кафедра «Микропроцессорных средств автоматизации»,  
Тел: +7 (342) 2-198-068,  
e-mail: [petrochenkov@pstu.ru](mailto:petrochenkov@pstu.ru), [pab@msa.pstu.ru](mailto:pab@msa.pstu.ru)

Я, Петроченков Антон Борисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

Подпись д.т.н., доцента Петроченкова А.Б. заверяю:



Ученый секретарь ПНИПУ

В.И. Макарович