



Проректор по науке
ФГАОУ ВО «Уральский
федеральный университет
имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина»

Германенко А. В.

«12» февраля 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Чиркова Дмитрия Андреевича

«Повышение тягового усилия цилиндрического линейного вентильного
двигателя»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

Актуальность темы диссертации

Многие месторождения РФ имеют сложные условия добычи нефти. При использовании истощенных месторождений нефти требуется повышение глубины вновь вводимых скважин. Для средне- и малодобитных скважин с сложными условиями добычи наиболее подходящими насосами являются насосы объёмного типа. Наиболее распространёнными в настоящее время насосами объёмного типа для добычи нефти являются плунжерные насосы с приводом от станка-качалки, использование которых невозможно при добыче на глубине более 2000 метров из-за опасности обрыва штанги. Наиболее перспективным направлением в настоящее время для добычи нефти из мало- и среднедобитных скважин глубиной более 2000 метров является использование погружных бесштанговых насосных агрегатов (ПБНА). Работы по созданию ПБНА для подъёма жидкости из средне- и малодобитных скважин ведутся ещё с 20-х годов прошлого века. В настоящее время Китайская Народная Республика является основным поставщиком ПБНА на рынок РФ, что в свою очередь угрожает экономической и энергетической безопасности Российской Федерации. В связи с этим, тема диссертационной работы соискателя Чиркова Дмитрия Андреевича «Повышение тягового усилия цилиндрического линейного вентильного двигателя» представляется актуальной и важной для науки и промышленности РФ.

Общая характеристика работы

Во введении сформулирована цель и поставлены задачи исследования. Описывается ее новизна, утверждаются основные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения об основных вопросах, рассмотренных в диссертации.

В первой главе описаны преимущества и недостатки наиболее распространённых способов добычи нефти. Описаны преимущества погружного бесштангового насосного агрегата на скважинах с малым и средним дебитом глубиной более 2 км, наклонно-направленных скважинах и скважинах с осложнёнными условиями добычи. В главе отображены достижения ПНИПУ по разработке ЦЛВД для ПБНА.

Во второй главе приводится электромагнитный расчёт цилиндрического линейного вентильного двигателя методом конечных элементов, выполненный в программном пакете ANSYS Maxwell. Описана модель ЦЛВД, соответствующая существующему экспериментальному модулю. Перечислены принятые при построении модели допущения. Рассмотрена картина поля в воздушном зазоре. Приведены методики расчёта рабочих и угловых характеристик двигателя. Проведено сравнение КПД и коэффициента мощности ЦЛВД при разных частотах питающего напряжения и сформулированы рекомендации для режимов работы двигателя.

В третьей главе представлена математическая модель ЦЛВД, основанная на теории электрических и магнитных цепей. Приведены два варианта расчёта ЦЛВД с учётом и без учёта насыщения магнитной цепи. Выполнен расчёт магнитных сопротивлений участков магнитной цепи ЦЛВД. Расчёт цепи без учёта насыщения проводится традиционным методом. Расчёт магнитной цепи с учётом насыщения основан на итерационном расчёте системы уравнений Кирхгофа. В главе представлено сравнение разных методик расчёта тягового усилия.

В четвёртой главе приведены многовариантные расчёты конструкции ЦЛВД для построения зависимостей тягового усилия от изменяющихся по ширине, диаметре и материале магнитов; открытия паза статора и диаметра вторичного элемента. Исследование зависимости тягового усилия реализовано многовариантными расчётами тягового усилия при изменении каждого из указанных параметров. Используя значения параметров, соответствующих наибольшему тяговому усилию, была разработана конструкция ЦЛВД, развивающая удельное тяговое усилие 6350 Н на метр длины статора.

В конце главы приведена экономическая оценка целесообразности использования ПБНА с приводом от ЦЛВД изменённой конструкции.

В заключении представлены выводы и обобщены основные результаты исследований, получены в ходе выполненной диссертационной работы.

В приложениях приведены: акт внедрения результатов работы в ООО «Ойл Автоматика», эскизные чертежи деталей существующего экспериментального модуля ЦЛВД и его улучшенной версии.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, библиографического списка используемых источников и приложений общим объемом 128 страниц. Основной текст изложен на 114 страницах машинописного текста, иллюстрирован 58 рисунками, 14 таблицами. Библиографический список включает 80 наименований.

Научная и практическая значимость результатов работы

Диссертация Чиркова Д.А. на тему «Повышение тягового усилия цилиндрического линейного вентильного двигателя» представленная на соискание учёной степени кандидата наук по научной специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты является завершённым, методически верным и грамотно изложенным научным исследованием, в котором поставлены и решены задачи в области повышения эффективности способов добычи нефти при заданных условиях. а также в области расчёта и проектирования синхронных линейных электрических двигателей цилиндрического типа с постоянными магнитами.

Как наиболее значимые результаты работы можно выделить:

1. Методика расчёта ЦЛВД по методу электрических и магнитных цепей, учитывающая насыщение магнитной цепи.
2. Рекомендации по выбору частоты рабочего и обратного ходов ЦЛВД для наиболее энергоэффективной эксплуатации ПБНА.
3. Рекомендации для проектирования ЦЛВД, обладающего большими значениями тягового усилия и КПД.
4. Модернизированная конструкция ЦЛВД, развивающая удельное тяговое усилие на единицу длины статора 6350 Н/м, что позволяет создать погружной двигатель длиной 8 метров для добычи нефти из сверхглубоких скважин.

Проведенные исследования изначально являлись частью научно-исследовательских и проектных работ, которые проводились в ФГБОУ ВПО «ПНИПУ» по заказу ОАО «Мотовилихинские заводы» (г.Пермь) при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор №02.G25.31.0068 от 23.05.2013 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218). Также исследования выполнялись при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по государственному заданию FSNM-2020-0028. Результаты исследований реализованы при проектировании и расчетах цилиндрического линейного вентильного электродвигателя в качестве электропривода нового поколения для ПБНА в ООО «Ойл Автоматика» г. Уфа.

Степень достоверности и апробация работы

Результаты исследований прошли апробацию с последующей публикацией в сборниках на 6 всероссийских и международных конференциях:

- II Международная научно-техническая конференция «Автоматизация в электроэнергетике и электротехнике» (Пермь, 2016 г.);

- Всероссийская научно-техническая конференция «Автоматизированные системы управления и информационные технологии» (Пермь, 2018 г.);

- Международная научная конференция «Высокие технологии и инновации в науке» (Санкт-Петербург, 2019 г.)

- Международная научно-практическая конференция «Радуга знаний: Теоретические и практические аспекты наук» (Ростов, 2019 г.)

- Международная научная конференция «Энергетика, экология и строительство» (Санкт-Петербург, 2019 г.)

- Международная научно-практическая конференция «Научно-практические исследования: технические науки» (Омск, 2020 г.)

Результаты исследований в достаточной мере опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК (4 статьи), и в индексируемых в международной базе данных SCOPUS (2 статьи).

Достоверность подтверждается соответствием проведённых расчётов разными методами с экспериментальными данными, а адекватность полученных результатов не вызывает сомнения.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанные в данной диссертационной работе методики могут быть использованы при расчёте и проектировании линейных синхронных электрических машин с постоянными магнитами. Приведённые рекомендации по проектированию в дальнейшем могут быть использованы для создания высокотяговых и высокоэффективных цилиндрических линейных вентильных двигателей. Рекомендации по выборам частот рабочего и обратного ходов могут быть использованы при разработке системы управления высоко энергозатратным синхронным приводом а как же результаты работы могут быть использованы в научно-образовательном процессе в ВУЗах в курсе «Электромеханика».

Соответствие паспорту специальности 05.09.01

Диссертация соответствует специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты в части:

1. Проведённые расчётные и экспериментальные исследования ЦЛВД, соответствуют п.1:

«Анализ и исследование физических явлений, лежащих в основе функционирования электрических, электромеханических преобразователей энергии и электрических аппаратов.»

2. Полученные в результате исследований рекомендации к проектированию ЦЛВД и выбору его режима работы соответствуют п.2:

«Разработка научных основ создания и совершенствования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов.»

3. Разработанные математические модели и расчётные методики и проведённые с их помощью многовариантные расчёты соответствуют п.3:

«Разработка методов анализа и синтеза преобразователей электрической и механической энергии.»

Вопросы и замечания по диссертации

Вопросы

1. Сравнивая графики зависимости усилия от тока статора рисунка Рис. 1.12 автор пишет, что «Падения тягового усилия, схожего с падением зависимости F при $I = 15$ А, нигде не наблюдается. Таким образом, было постановлено, что с увеличением тока вторичный элемент прототипа ЦЛВД под действием сил притяжения изгибается и касается поверхности статора. При этом возрастают силы трения и снижается выходное тяговое усилие прототипа ЦЛВД». Однако, сравнивая графики Рис. 1.12 и Рис.3.6 б, а также учитывая, что в «Выводах (пункт 1)» автор указывает, что им «разработана методика расчёта ЦЛВД, опирающаяся на математическую модель, основанная на теории электрических и магнитных цепей и учитывающая насыщение участков магнитной цепи». Тогда утверждение автора о том, что только в результате прогиба и трения ротора о статор уменьшается результирующая сила, нам кажется не обоснованным и опровергнутым самим же автором. Или автор будет настаивать на своем утверждении?
2. На рис. 2.14 приведено семейство угловых характеристик ЦЛВД, полученных в Maxwell transient в функции частоты. Не понятно, почему при положительных углах $\Delta\theta$ влияние заданной частоты на максимальное значение силы меньше, чем при отрицательных углах $\Delta\theta$?
3. На стр.42 и далее при рассмотрении графика распределения индукции в зазоре двигателя рис.2.8 и другие используется нетрадиционное понятие, как «выбросы» индукции. Не понятно, применяя такую терминологию автор хочет указать, что эти «выбросы» индукции есть ошибка расчета?

Замечания

1. Для удобства чтения, обобщения и анализа результатов расчета численные значения переменных, например, ток статора, приведенный в диссертации в Амперах, следовало бы приводить в относительных

- единицах, приняв, например, за единицу ток статора опытного образца двигателя в длительном режиме работы.
2. Для оценки читателем (рецензентом) уровня насыщения участков магнитной цепи следовало бы чаще использовать возможности пакета ANSYS Maxell magnetostatic, приводя зонную картину распределения индукции по участкам магнитной цепи при номинальном токе статора.
 3. Инициалы других авторов статей следует указывать.

Заключение по работе

Представленные в рассмотренной работе результаты исследований вносят важный вклад в повышение энергетической эффективности нефтедобычи и в энергетическую безопасность РФ. Автореферат в полной мере отображает основное содержание работы. Вынесенные на защиту положения в достаточной мере обоснованы и соответствуют поставленным целям и решаемым задачам.

Работа соответствует критериям п. 14 Положения о присуждении ученых степеней, принятого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

В целом диссертационная работа Чиркова Д.А. на тему «Повышение тягового усилия цилиндрического линейного вентильного двигателя» представленная на соискание учёной степени кандидата наук по научной специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты выполнена на высоком научном уровне и заслуживает положительной оценки.

Диссертационная работа и отзыв обсуждены на расширенном заседании кафедры «Электротехника и электротехнологические системы» ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина», протокол №1 от «10» февраля 2021 года.

Заведующий кафедрой
«Электротехника»
ФГАОУ ВО «Уральский
федеральный университет
имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина»



Фризен Василий Эдуардович