

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ПНИПУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям



Коротаев В.Н.

« 08 » октября 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет» (ФГБОУ ВО «ПНИПУ»)

Диссертация «Повышение тягового усилия цилиндрического линейного
вентильного двигателя» выполнена на кафедре «Электротехника и
электромеханика» Электротехнического факультета.

В период подготовки диссертации соискатель Чирков Дмитрий Андреевич
обучался в очной аспирантуре ФГБОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет» с 01.10.2015 г. по 30.09.2019
г. по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты. С
01.09.2016 г. по 31.08.2017г. работал в ФГБОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет» в должности ассистента
кафедры «Электротехника и электромеханика».

С 1.09.2019 по 31.06.2020 работал в ФГБОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет» в должности старшего
преподавателя кафедры «Электротехника и электромеханика».

В 2015 г. окончил ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» и получил диплом инженера № 105905 0319410 по специальности «Электромеханика».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов и справка об обучении выданы в 2019 г. ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

На заседании кафедры от 25 декабря 2019 года прежнее название диссертационной работы «Моделирование цилиндрического линейного вентильного двигателя» было изменено на название: «Повышение тягового усилия цилиндрического линейного вентильного двигателя».

Научные руководители – **Шулаков Николай Васильевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электротехника и электромеханика» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», **Коротаев Александр Дмитриевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Электротехника и электромеханика» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». На заседании кафедры от 31 августа 2020 года при обсуждении диссертации «Повышение тягового усилия цилиндрического линейного вентильного двигателя» принято следующее заключение.

1. Актуальность

Актуальность выбранной автором темы обусловлена необходимостью создания отечественного аналога линейного погружного двигателя для добычи нефти на существующих скважинах РФ и является важной государственной задачей, решению которой посвящено диссертационное исследование.

На сегодняшний день на территории России преобладают два основных способа добычи нефти с помощью установок штанговых глубинных насосов (УШГН) и с помощью установок электроцентробежных насосов (УЭЦН). Наиболее распространённым видом механизированной добычи нефти являются УШГН, которыми оборудовано более половины фонда эксплуатируемых

нефтяных скважин. УШГН имеют ряд существенных недостатков, наиболее существенным из которых является ограничение глубины добычи до 2000 метров из-за опасности обрыва колонны штанг. УЭЦН так же имеет ряд недостатков, самый существенный из которых в том, что его использование УЭЦН ограничивается лишь многодебитными скважинами. КПД при добыче менее 80 м³/сут. становится ниже 35%. Таким образом, УЭЦН невозможно использовать при дебите менее 40 м³/сут из-за чрезвычайно низкого КПД. Проблема добычи нефти на средне- и малодебитных скважинах глубиной от 2000 метров и более имеет на данный момент только одно практическое решение – погружной бесштанговый насосный агрегат (ПБНА) на основе цилиндрического линейного вентильного двигателя (ЦЛВД).

Работа по созданию ПБНА для подъёма жидкости из средне- и малодебитных скважин ведётся ещё с 20-х годов прошлого века. Основным направлением по созданию ПБНА была разработка цилиндрических линейных асинхронных двигателей (ЦЛАД). Тем не менее практического применения электропривода на основе ЦЛАД не получили из-за низких энергетических характеристик таких двигателей и невозможности позиционирования вторичного элемента. В 80-х годах высказывалась идея использования для добычи нефти линейного вентильного двигателя с совмещенной (двухфункциональной) обмоткой. Не смотря на значительное преимущество в силе, из-за ряда существенных недостатков он тоже не получил практического применения. В связи с появлением высококоэрцитивных постоянных магнитов стало возможным создание цилиндрического линейного вентильного двигателя (ЦЛВД) для привода ПБНА. Известно, что теоретические и экспериментальные исследования ЦЛВД проводились в ряде вузов России и, в частности, в Воронежском государственном техническом университете; Альметьевском государственном нефтяном институте; Башкирском государственном аграрном университете; Южно-Российском государственном политехническом университете (НПИ) имени М.И. Платова.

Используя теоретические исследования, выполненные в ряде вузов и научных организациях России, а также за рубежом, в корпорации «Триол» и в компании ООО «Ойл Автоматика» были созданы установки плунжерного насоса с линейным вентильным электроприводом, в настоящее время находящиеся на опытно-промышленных испытаниях. Но наибольшего прогресса в разработке линейного погружного электродвигателя с постоянными магнитами добились учёные из КНР. До сих пор КНР является основным поставщиком ПБНА на рынок РФ, что в свою очередь может угрожать экономической и энергетической безопасности Российской Федерации. Основными проблемами производства ПБНА в РФ стали отсутствие конкурентоспособной конструкции ЦЛВД и доступных методик расчёта ЦЛВД. Именно решению этих проблем и была посвящена диссертационная работа. В связи с этим выполненные соискателем исследования являются весьма актуальными и имеют высокие теоретическую значимость и практическую ценность.

2. Научная новизна результатов работы

Научная новизна характеризуется тем, что были получены следующие результаты:

1. Разработана математическая модель ЦЛВД, на основе которой создана новая методика расчёта на базе теории электрических и магнитных цепей, учитывающая насыщение магнитной цепи, что позволяет рассчитывать рабочие характеристики ЦЛВД и величину напряжения питания двигателя необходимую для достижения заданных скорости вторичного элемента и тягового усилия;
2. Впервые рассчитаны характеристики ЦЛВД с применением метода конечных элементов в цилиндрической системе координат, что позволит рационализировать конструкцию ЦЛВД с целью получения большего тягового усилия и КПД и найти наиболее энергоэффективные алгоритм управления и способ питания двигателя;
3. В результате исследований получены основные закономерности зависимости тягового усилия от конструкции и основных параметров двигателя, что позволяет

определить конструкцию ЦЛВД обладающую максимальным тяговым усилием и лучшими энергетическими характеристиками.

3. Научная и практическая значимость работы

В результате исследования были:

1. Выявлены основные зависимости энергетических характеристик ЦЛВД от частоты питающего напряжения, что позволит рационализировать алгоритм работы установки и повысить её энергоэффективность.
2. Разработаны рекомендации для проектирования ЦЛВД, обладающего наибольшими значениями тягового усилия и КПД.
3. Определена 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.

4. Личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации

Результаты, представленные в диссертации и отраженные в публикациях, получены при непосредственном участии соискателя. Автор поставил цели и задачи исследования. Сформулировал и разработал математическую модель

ЦЛВД, основанную на теории электрических и магнитных цепей в цилиндрической системе координат. Разработал методику расчёта рабочих характеристик ЦЛВД методом конечных элементов в цилиндрической системе координат в программе ANSYS Maxwell. Исследовал зависимость тягового усилия от ширины, диаметра, материала магнитов, открытия паза, расчётного коэффициента полюсного деления, диаметра вторичного элемента на основании чего разработана конструкция двигателя, развивающего удельное тяговое усилие 6350 Н/м длины. Концептуальные положения работы, постановка задачи и анализ результатов обсуждались совместно с научным руководителем.

5. Степень достоверности результатов проведённых исследований

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректной постановкой исследовательских задач и их физической обоснованностью, использованием современного программного обеспечения и комплексным подходом к проведению исследований; сходимостью теоретических и экспериментально полученных результатов; непротиворечивостью результатам подобных исследований других авторов и основным положениям науки; использованием сертифицированных и поверенных образцов и контрольно-измерительной аппаратуры, а также применением математического анализа при обработке полученных результатов с использованием современных средств вычислительной техники.

6. Соответствие диссертации научной специальности

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».

7. Полнота изложения результатов диссертации, в работах опубликованных автором

Материалы диссертации полно представлены в работах, опубликованных соискателем. Основное содержание работы отражено в 10 печатных работах, из них 4 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России по специальности диссертации, две статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных SCOPUS.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК по группе научных специальностей диссертации:

1. Ключников, А.Т. Метод расчета магнитной цепи цилиндрического линейного вентильного двигателя по схеме замещения / А.Т. Ключников, А.Д. Коротаев, Д.А. Чирков // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2016. – Т. 14. - № 9. – С. 64-69.

2. Тимашев, Э.О. Рабочие характеристики цилиндрического линейного вентильного двигателя / Э.О. Тимашев, Д.А. Чирков, А.Д. Коротаев // Электротехника. – М.: Знак. - 2018. - № 11. - С. 27-31.

3. Сравнение методов расчёта электромагнитных процессов на примере цилиндрического линейного вентильного двигателя / Д.А. Чирков, А.Т. Ключников, А.Д. Коротаев, Э.О. Тимашев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – Пермь. - 2018. - № 28. - С. 76-91.

4. Тимашев, Э.О. Оптимизация вторичного элемента цилиндрического линейного вентильного двигателя / Э.О. Тимашев, Д.А. Чирков, Н.В. Шулаков, А.Д. Коротаев // Вопросы электротехнологии. – Саратов: Изд-во СГТУ. – 2019. – №1.

5. Timashev, E.O. Operating characteristics of cylindrical linear induction motor / E.O. Timashev, D.A. Chirkov, A.D. Korotaev // Russian electrical engineering. – 2018. – Vol. 89. – №11. – pp. 643-647.

6. Chirkov D.A. Efficiency of a submersible plunger pump linear motor / D.A. Chirkov, E.O. Timashev // E3S Web of Conferences. — 2019. – Vol. 140. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201914002012>

В диссертационной работе не выявлено использования материалов или отдельных результатов без ссылок на автора или источник заимствования, включая работы, выполненных соискателем лично и/или в соавторстве.

8. Апробация работы

Основные положения и научные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях:

- II Международная научно-техническая конференция «Автоматизация в электроэнергетике и электротехнике» (г. Пермь, 2016 г.);
- Всероссийская научно-техническая конференция «Автоматизированные системы управления и информационные технологии» (г. Пермь, 2018г.);
- Международная научная конференция «Высокие технологии и инновации в науке» (г. Санкт-Петербург, 2019г.)
- Международная научно-практическая конференция «Радуга знаний: Теоретические и практические аспекты наук» (г. Ростов, 2019г.)
- Международная научная конференция «Энергетика, экология и строительство» (г. Санкт-Петербург, 2019 г.)
- Международная научно-практическая конференция «Научно-практические исследования: технические науки» (г. Омск, 2020 г.)

9. Ценность научных работ соискателя

Ценность научных работ соискателя состоит в разработке методик расчёта цилиндрического линейного вентильного двигателя с постоянными магнитами.

Разработанная методика расчёта, основанная на методе конечных элементов, позволяет рассчитать рабочие характеристики ЦЛВД и получить их зависимости от конструкции ЦЛВД, а так же частоты, величины и характера подаваемого на двигатель напряжения.

Разработанная методика расчёта, основанная на теории электрических и магнитных цепей, также позволяет рассчитать рабочие характеристики ЦЛВД и получить их зависимости от его конструкции, частоты и величины подаваемого напряжения.

Полученные в результате исследований рекомендации к проектированию ЦЛВД, позволяют спроектировать ЦЛВД заданных габаритов, обладающий наибольшими значениями КПД и тягового усилия.

10. Выводы

Диссертационная работа Чиркова Д.А. «Повышение тягового усилия цилиндрического линейного вентильного двигателя» является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение научной задачи повышения тягового усилия цилиндрического линейного вентильного двигателя, предназначенного для использования при добыче нефти. Внедрение предложенных решений, позволит создать отечественный конкурентоспособный погружной бесштанговый насосный агрегат, что вносит значительный вклад в развитие нефтедобывающей отрасли и энергетической безопасности страны.

Диссертация обобщает самостоятельные исследования автора, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые на защиту, свидетельствует о личном вкладе автора в науку. При выполнении диссертационной работы Чирков Д.А. проявил себя зрелым

научным работником, способным ставить и решать сложные теоретические и практические задачи.

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.

Диссертационная работа «Повышение тягового усилия цилиндрического линейного вентильного двигателя» Чиркова Дмитрия Андреевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Электротехника и электромеханика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Присутствовало на заседании 14 чел., из них доктор технических наук - 1, кандидатов технических наук - 9. Результаты голосования: «за» – 14 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 1 от «31» августа 2020 г.


Кавалеров Борис Владимирович,

доктор техн. наук, доцент

«Электротехника и электромеханика»

ФГБОУ ВО «ПНИПУ»,

заведующий кафедрой

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29.
Телефон/факс: +7 (342) 219-80-67, E-mail: rector@pstu.ru

Сведения о лице, утвердившем заключение:

Кортаев Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», проректор по науке и инновациям
614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29.
Телефон/факс: +7 (342) 219-80-67, E-mail: science@pstu.ru

Подпись

заверяю


Главный специалист УК
О.А. Болгарова