

## Отзыв

официального оппонента на диссертацию Чиркова Дмитрия Андреевича «Повышение тягового усилия цилиндрического линейного вентильного двигателя», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты».

### Актуальность темы

Нефтегазодобыча является для Российской Федерации бюджетообразующей отраслью, поэтому исследования, направленные на совершенствование этой технологии следует признать важными и актуальными. В настоящее время вся рентабельная добыча углеводородов уже освоена. Залежи, находящиеся на небольших глубинах в географически удобных местах, постепенно иссекают и добычу приходится вести на больших глубинах для тяжелой нефти. Использовать для этих целей устаревшее оборудование не представляется возможным по причине низкой надежности и эффективности. В отличие от традиционных методов в диссертации предлагается применить инновационный подход на базе разработки вентильного линейного двигателя для погружного насоса. Наличие мощных высококоэрцитивных магнитов и силовой электроники позволяют реализовать этот подход, но с точки зрения теории эти вопросы не проработаны. Представленная к защите диссертация решает ряд этих научных задач и поэтому представляет собой теоретический интерес и практическую значимость.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и трех приложений. Работа изложена на 128 страницах, из них 114 страниц основного текста, включая 58 рисунков и 14 таблиц. Список использованной литературы включает 80 наименований.

Диссертация имеет следующую структуру и логику изложения.

**В первой главе** дается анализ преимуществ и недостатков существующих нефтедобывающих агрегатов, делается вывод о том, что для глубинных малодебитовых скважин наиболее предпочтительным вариантом является насосный агрегат на базе цилиндрического линейного вентильного двигателя. Этот вариант выбран в качестве базового для дальнейшего анализа.

**Вторая глава** посвящена разработке методики анализа линейного двигателя на основе метода конечных элементов с применением программного комплекса Ansys Maxwell. Автор проводит электромагнитный анализ для магнито-статической задачи и динамической задачи с учетом перемещения вторичного элемента. В динамическом режиме расчеты проводятся для нескольких частот питающего напряжения.

**В третьей главе** разработана методика расчета линейного двигателя на основе теории цепей и эквивалентных схем замещения. На основе этой методики строятся зависимости тягового усилия от перемещения. Приводятся сравнение результатов расчета тягового усилия для различных методик и эксперимента.

**Четвертая глава** посвящена рассмотрению мероприятий по совершенствованию конструкции линейного двигателя и улучшению его тяговых характеристик. Рассматриваются варианты применения постоянных магнитов из различных материалов, оптимизация его основных размеров, применение шихтованного магнитопровода. Данные исследования позволили уменьшить габариты линейного двигателя при тех же самых выходных параметрах, что дает возможность применять это устройство на еще больших глубинах.

**В заключении** диссертации приведены основные результаты и выводы, отражающие содержание работы.

### **Научная новизна и теоретическая значимость**

Основным научным результатом является дальнейшая разработка теории проектирования линейных вентильных двигателей инновационной конструкции. Диссертант:

- создал методику расчета основных параметров и характеристик с применением метода конечных элементов в цилиндрических координатах;
- разработал математическую модель на основе эквивалентных схем замещения, которая учитывает насыщение цепи;
- на базе оптимизации геометрических размеров разработал конструкцию с повышенным тяговым усилием, которая способна работать на больших глубинах.

Полученные в работе математические модели и структурные схемы обладают достаточной общностью и могут быть использованы для исследования и проектирования различных типов линейных вентильных синхронных машин малой и средней мощности.

**Практическая ценность результатов работы** заключается прежде всего в создании конкретного опытного образца, который может быть прототипом серийного изделия.

Полученные в работе исследования позволяют на уровне инженерной практики определить основные энергетические характеристики. Разработанные рекомендации по оптимальным размерам позволяют спроектировать линейные двигатели с хорошими удельными показателями. Интерес промышленных предприятий к данной разработке подтверждает ее практическую ценность. Проект получил поддержку правительства РФ по постановлению 218 для высо-

котехнологического производства, что является подтверждением его значимости для отечественной промышленности.

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

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в проектных организациях, конструкторских бюро и на промышленных предприятиях, занимающихся разработкой, проектированием и изготовлением вентильных электрических машин, работающих в тяжелых условиях. Основные теоретические выводы для данного класса вентильных двигателей следует применить в учебном процессе вузов технических специальностей.

### **Достоверность результатов работы**

Полученные научные результаты и практические рекомендации имеют высокую степень достоверности, поскольку получены были с применением хорошо проверенных методов анализа, таких как метод эквивалентных схем замещения, метод конечных элементов, методы натурного макетирования. Основные выводы и рекомендации были подтверждены на практике при испытании опытного образца.

### **Апробация диссертации и публикации**

Основные результаты диссертации были широко представлены научной общественности и обсуждались на Всероссийских и Международных конференциях. Исследования представлены в печати, включая публикации в изданиях аккредитованных ВАК и изданиях, входящих в международную наукометрическую базу Scopus.

**Автореферат** отражает основное содержание диссертации и соответствуют требованиям, предъявляемым ВАК Министерства науки и высшего образования РФ. Автореферат и диссертация написаны в строго логической последовательности, математические выводы понятны и физически обоснованы. При использовании в тексте диссертации результатов других авторов сделаны соответствующие ссылки. Работа оформлена в соответствии с существующими требованиями.

### **Вопросы и замечания по работе**

При общей положительной оценке к работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В диссертации очень мало информации о системе управления вентильным двигателем без которой он работать не может, при этом система управления оказывает существенное влияние на выходные параметры и характе-

ристики. Не понятно назначение датчика нулевого положения, не понятно есть ли датчик положения подвижной части двигателя, каким образом осуществляется переключение обмоток, может ли двигатель выпасть из синхронизма?

2. В методике расчета характеристик исключаются потери в стали на основании того, что частота перемагничивания составляет 1-7 Гц, но из теории известно, что помимо частоты магнитные потери зависят от величины индукции в квадрате. Некоторые участки магнитопровода линейного двигателя имеют существенное насыщение до 1.3 Тл, при этом эти участки не шихтованы и выполнены из цельного металла с хорошей электропроводностью. При этих условиях исключение потерь в стали требует более тщательного обоснования, тем более, что современные методы конечно-элементного анализа позволяют их рассчитать.
3. В конструкции с шихтованным магнитопроводом якоря имеются участки магнитной цепи, где магнитный поток идет поперек шихтованного железа. Каким образом рассчитывалось падение НС на этих участках?
4. В диссертации рассмотрена только одна конструкция линейного двигателя с осевой намагниченностью постоянных магнитов. Для практических целей следовало бы изучить другие конструкции линейных двигателей, например, с радиальной намагниченностью постоянных магнитов.
5. В методике расчета не учтен эффект размагничивающего действия реакции якоря на постоянные магниты.
6. В методиках расчета не приводится оценка теплового состояния мощного линейного двигателя, что ведет к техническим рискам его перегрева при длительной эксплуатации. Автору необходимо было довести свои исследования до разработки инженерной методики проектирования двигателей этого класса.
7. При написании текста диссертации автор использует большое количество сокращений и аббревиатуры, что затрудняет анализ представленной работы.
8. Автореферат отражает основное содержание работы, но при этом часто не содержит информации, необходимой для более детального понимания полученных результатов, что часто заставляло обращаться к самой диссертации. Например, нет картины расчета магнитного поля и т.п., при этом объем автореферата вполне позволил бы разместить эту информацию.

Указанные замечания хотя и отражаются на качестве изложения, однако не меняют общего положительного мнения о данной очень полезной инновационной научной работе.

## Заключение по диссертации

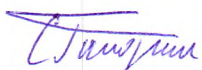
Диссертационная работа на тему: «Повышение тягового усилия цилиндрического линейного вентильного двигателя» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена проблема разработки инновационной конструкции линейного вентильного двигателя и даны рекомендации по его проектированию.

Диссертационное исследование соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.09.01- «Электромеханика и электрические аппараты» (отрасль наук - технические): 1. «Анализ и исследование физических явлений, лежащих в основе функционирования электрических, электромеханических преобразователей энергии и электрических аппаратов»; 2. «Разработка научных основ создания и совершенствования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов»; 4. «Разработка подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих проектирование электромеханических преобразователей в процессе эксплуатации, в составе рабочих комплексов».

Работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Чирков Дмитрий Андреевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01- «Электромеханика и электрические аппараты».

Официальный оппонент, доцент, доктор технических наук (05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты), заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники» Энергетического факультета Политехнического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»



Ганджа Сергей Анатольевич

Служебный адрес: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина 76, ауд.267,  
кафедра «Теоретические основы электротехники»,  
Телефон: +7 (351) 267-91-51  
Факс: +7 (351) 267-99-00  
E\_mail: [gandja\\_sa@mail.ru](mailto:gandja_sa@mail.ru)



ВЕРНО  
Начальник службы  
делопроизводства ЮУрГУ

25.02.21