

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.285.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА», МИНИСТЕРСТВО  
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕР-  
ТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 25.04.2018 г. № 11

О присуждении Шутемову Сергею Владимировичу, гражданство Рос-  
сийской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование модуля линейного вентиль-  
ного электродвигателя для погружных нефтедобывающих насосов» по спе-  
циальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты принята к  
защите 16 февраля 2018 г. (протокол заседания № 4) диссертационным сове-  
том Д 212.285.03, созданным на базе ФГАОУ ВО «Уральский федеральный  
университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки  
России, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; созданным приказом Мин-  
обрнауки России № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель, Шутемов Сергей Владимирович, 1978 года рождения.

В 2005 году окончил ГОУ ВПО «Пермский государственный техниче-  
ский университет» по специальности «Сети связи и системы коммутации»; в  
2016 г. окончил очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Пермский национальный  
исследовательский политехнический университет» по специальности  
05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты; работает в должности  
старшего преподавателя кафедры электротехники и электромеханики  
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет», Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре электротехники и электромеханики ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Шулаков Николай Васильевич, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра электротехники и электромеханики, научный руководитель.

Официальные оппоненты:

**Ганджа Сергей Анатольевич** – доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Энергетический факультет, декан;

**Дмитриевский Владимир Александрович** – кандидат технических наук, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, кафедра электротехники и электротехнологических систем, доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», г. Курган – в своем положительном отзыве, подписанном Мошкиным Владимиром Ивановичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой энергетики и технологии металлов, указала, что диссертация Шутемова С.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой использованы современные подходы расчета полевых моделей с применением геометрических преобразований применительно к цилиндрическим линейным вентильным двигателям. Содержание диссертации полностью соответствует паспорту научной специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты и отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук согласно п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Шутемов Сергей Владимирович, заслуживает присуж-

дения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ.

Другие публикации представлены в виде 9 статей, опубликованных в российских научных журналах (3), материалах международных (5) и краевой (1) научных конференций. Общий объем опубликованных работ – 7,5 п.л., авторский вклад – 3,4 п.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Шутемов, С.В. Метод расчета электромагнитных процессов в цилиндрическом линейном вентильном двигателе / Н. В. Шулаков, С. В. Шутемов // Электротехника. 2014. № 11. С. 18-22. (0,6 п.л./0,4 п.л.)

Shutemov, S.V. A method for calculating the electromagnetic processes in a cylindrical linear electronic motor / N.V., Shulakov, S.V. Shutemov // Russian Electrical Engineering. 2014, Volume 85, Issue 11, pp. 663–667. (0,6 п.л./0,4 п.л.)  
(индексирована в Scopus)

2. Шутемов, С.В. Определение главных размеров линейных асинхронных электродвигателей с односторонним индуктором / Е. М. Огарков, С. В. Шутемов, А. М. Бурмакин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2014. №4. С. 97-100. (0,6 п.л./0,1 п.л.)

3. Шутемов, С.В. Усилие тяжения цилиндрического линейного вентильного двигателя с постоянными магнитами между статором и вторичным элементом / А. М. Мирзин, А. Д. Коротаев, С. В. Шутемов // Современные проблемы науки и образования (электронный журнал). 2013. № 6. 883. (0,7 п.л./0,3 п.л.)

4. Шутемов, С.В. Разработка преобразователя частоты каскадного типа для двигателя погружного насоса / И. В. Милюша, А. М. Мирзин, А. Д. Коро-

таев, С.В. Шутемов // Современные проблемы науки и образования (электронный журнал). 2013. № 6. 882. (0,7 п.л./0,2 п.л.)

5. Шутемов, С.В. Моделирование цилиндрического линейного вентильного двигателя / А.Т. Ключников, А.Д. Коротаев, С.В. Шутемов // Электротехника. 2013. № 11. С. 14-17. (0,4 п.л./0,2 п.л.)

Shutemov, S.V. Modeling of a cylindrical linear AC electronic motor / A. T. Klyuchnikov, A. D. Korotaev, S. V. Shutemov // Russian Electrical Engineering. 2013, Volume 84, Issue 11, pp. 606–609. (0,4 п.л./0,2 п.л.) (*индексирована в Scopus*).

На автореферат поступили положительные отзывы:

1. Аипова Рустама Сагитовича, д-ра техн. наук, проф., профессора кафедры электрических машин и электрооборудования ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа. Содержит замечания, касающиеся опечаток (стр.12); отсутствия данных по классу точности измерительных приборов, что осложняет возможность оценки адекватности математической модели по графикам (рис.15); сомнения в возможности работы разработанного цилиндрического линейного вентильного двигателя в режиме возвратно-поступательного движения.

2. Казакова Юрия Борисовича, д-ра техн. наук, проф., заведующего кафедрой электромеханики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново. Содержит замечания, касающиеся отсутствия оценки погрешности преобразования трехмерной модели к двумерной и расчета двумерного (квазитрехмерного) электромагнитного поля; отсутствия тепловых расчетов работы двигателя в скважине.

3. Кагана Андрея Вадимовича, канд. техн. наук, доц., доцента кафедры электроэнергетики и электромеханики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург. Содержит вопросы: на рис. 8, 9, 10 (стр.13-14) представлены статические угловые характеристики. Как это согласуется с тем, что двигатель линейный; на рис.16 (стр.19) представлена

схема расчета эффекта тяжения методом магнитных сопротивлений. Можно ли было использовать другие методы?

4. Макаричева Юрия Александровича, д-ра техн. наук, доц., заведующего кафедрой электромеханики и автомобильного электрооборудования; и Зубкова Юрия Валентиновича, канд. техн. наук, доц., доцента кафедры электромеханики и автомобильного электрооборудования ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара. Содержит замечания: при переходе к 2D задаче зубцы статора и полюсы подвижного элемента ВД изменяют свою геометрию в поперечном сечении. Данная трансформация геометрии активной зоны не учтена; в автореферате не уделено внимание защите активных элементов ЦЛВД от воздействия химически агрессивной среды по месту эксплуатации; на стр. 14 указано что «магнитное поле пространственно на поверхности полюса распределено несинусоидально». Трудно оценить достоверность данного утверждения; подробно изложена методика определения статических характеристик ЦЛВД при экспериментальном исследовании. Не совсем ясно, как моделировался реальный динамический режим работы?

5. Сапсалева Анатолия Васильевича, д-ра техн. наук, проф., профессора кафедры электротехника и электроника ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск. Содержит замечания и вопросы: отсутствие обоснования выбора типа двигателя для привода плунжерного электронасоса. На какие величины хода рассчитан предлагаемый двигатель?; не ясно, как учитывалась кабельная линия между преобразователем и вентильным двигателем; некоторую увлеченность компьютерным моделированием процессов в ущерб аналитическим исследованиям; на основании каких методов проводились многовариантные расчеты при поиске рациональной конструкции вторичного элемента; учитывались ли при построении модели краевые эффекты, характерные для линейных двигателей.

6. Рахмановой Юлии Владиславовны, канд. техн. наук, доц., доцента кафедры «Электромеханика» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа. Содержит замечания: в работе не указаны допущения, которые принимались при расчете двигателя и эквивалентировании геометрических соотношений двух машин; при сопоставлении экспериментальных и расчетных характеристик приведены только угловые характеристики, желательно было бы привести и рабочие характеристики; желательно было бы указать мощность линейного двигателя.

7. Титова Владимира Георгиевича, д-ра техн. наук, проф., профессора кафедры «Электрооборудование, электропривод и автоматика»; и Плехова Александра Сергеевича, канд. техн. наук, доц., доцента кафедры «Электрооборудование, электропривод и автоматика» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород. Содержит замечания: автором разработана идеализированная математическая модель, которая не включает аналитических зависимостей для эквивалентных двигателей вращательного движения; разработаны рекомендации по выбору геометрических элементов двигателя и параметров обмотки для получения максимальной удельной тяги, однако в разработанной методике расчета отсутствуют расчеты сил; автор приводит доводы в пользу использования тепловых потерь в кабеле питания для технологического процесса добычи вязкой нефти, но при этом не учитывает пониженную частоту напряжения, питающего ЦЛВД.

8. Андреевой Елены Григорьевны, д-ра техн. наук, проф., профессора кафедры «Электрическая техника» ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», г. Омск. Содержит замечания и вопросы: в автореферате проводится сравнение агрегата на основе ЦЛВД только для штангового привода плунжерного насоса в нефтедобыче. Чем ваша конструкция предпочтительнее? Не понятно, зачем сводить трехмерную задачу расчета ЦЛВД к двумерной в декартовой системе координат, может лучше было использовать осесимметричную модель; не ясно, какова мощность, КПД,  $\cos$

габаритные размеры исследуемого опытного образца ЦЛВД; каким образом вентильный преобразователь создает возвратно-поступательное движение; отмечается использование «профессионализмов», несогласованность в названии метода расчета (МКЭ или МКР?).

9. Беспалова Виктора Яковлевича, д-ра техн. наук, профессора кафедры «Электромеханика, электрические и электронные аппараты» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет “МЭИ”», г. Москва. Содержит замечания: в диссертации рассматривается модель электромагнитных процессов ЦЛВД с приведением трехмерного распределения поля к двумерному, однако отсутствует сравнение предложенной двухмерной модели с осесимметричной моделью; насколько правомерно оперировать индуктивностями сопротивлением и установившимися значениями токов, а не мгновенными значениями на основе дифференциальных уравнений; в плунжерных насосах вторичная часть с постоянными магнитами работает постоянно в динамическом режиме, однако в диссертации отсутствуют уравнения динамики для этого привода; обозначения геометрических размеров в тексте (стр. 22) и на чертеже двигателя (рис. 1.4) не совпадают.

10. Данекера Валерия Аркадьевича, канд. техн. наук, доцента Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск. Содержит замечания: преимущества применения плунжерного насоса в нефтедобыче по сравнению со станком качалкой является известным фактом, не требующим новых доказательств; предлагаемый в работе критерий рациональности при выборе конструкции ЦЛВД, заключающийся в увеличении тяги, не имеет оптимума; в автореферате присутствуют стилистические и орфографические ошибки; отсутствует рис.7.1; для обозначения вводимых автором переменных используются стандартные обозначения известных физических параметров, что затрудняет рассмотрение материалов.

11. Литвина Валерия Ивановича, д-ра техн. наук, первого проректора по учебной работе, профессора кафедры электрооборудования и автоматике ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет», г. Москва. Содержит замечания: не указано, какие погрешности в расчетах допускаются при сведении трехмерной задачи к двумерной и области применения двумерной модели электромагнитного поля ЦЛВД; не указано, какие математические методы и какой программный комплекс использовался для расчетов. Какова точность этих методов (расчетов).

12. Писаревского Александра Юрьевича, канд. техн. наук, доцента кафедры электромеханических систем и электроснабжения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж. Содержит замечания: не ясно, каким образом выбирается экономически целесообразное напряжение двигателя; каким образом осуществляется оценка точности предлагаемого метода.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области научных исследований, проектирования и разработки вентильных и линейных электродвигателей, наличием публикаций в ведущих рецензируемых изданиях.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**обоснованы** преимущества применения цилиндрический линейный вентильный двигатель (ЦЛВД) в качестве привода плунжерного насоса, вместо станка-качалки, в нефтедобычных агрегатах;

**разработана** математическая модель электромагнитных процессов в модуле ЦЛВД. Модель учитывает распределение магнитного поля в двигателе по всем трем координатам и позволяет преобразовывать трехмерную геометрическую модель к двумерной по предложенным уравнениям;

**разработан** алгоритм расчета электромагнитных процессов модуля ЦЛВД. Алгоритм совмещает численное моделирование электромагнитного



поля на двухмерной полевой модели (однородной по третьей оси) и геометрические размеры двигателя с трехмерным распределением поля;

**предложен** анализ возможных конструкций элементов индуктора и вторичного элемента ЦЛВД. В результате сопоставления различных вариантов, была выбрана конструкция индуктора и вторичного элемента, позволяющая получить максимальное тяговое усилие, при заданном номинальном токе обмоток.

**Теоретическая значимость исследования** заключается в раскрытии особенностей применения ЦЛВД в качестве привода ПБЭНА для добычи нефти; разработке методики расчета модуля ЦЛВД и получении математического описания электромагнитных процессов в двигателе; разработке алгоритма расчета модуля ЦЛВД, основанном на применении преобразования трехмерной модели двигателя к двухмерной;

**применительно к проблематике диссертации эффективно использованы:** методы расчета на основе общеизвестной теории электромагнитного поля и теории нелинейных магнитных цепей. Поставленные задачи решены с использованием программных продуктов *ELCUT*, *ANSYS*;

**изложена** математическая модель для расчета тягового усилия ЦЛВД, построенная на основе решения полевой задачи в двухмерной постановке. При этом происходит преобразование трехмерного распределения поля ЦЛВД к двухмерному;

**раскрыто** использование методов компьютерного моделирования, которое осуществляется с помощью математических пакетов *MATHCAD*, *MATLAB*.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**создан** модуль ЦЛВД предложенной рациональной конструкции, получены требуемые технические характеристики;

**разработан** экспериментально подтвержденный на работоспособность изготовленный модуль ЦЛВД;

**представлены** особенности методики выбора рациональной конструкции магнитной цепи, элементов индуктора и вторичного элемента модуля ЦЛВД.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ показана воспроизводимость** результатов исследования, в частности, снятие статических угловых характеристик, полученных при разных токах при многократном повторении опытов;

**теория** рассматриваемых линейных вентильных двигателей построена на использовании известных методов теоретической электротехники, теории электромеханики и электрических аппаратов;

**установлено** качественное и количественное соответствие результатов теоретических исследований с данными экспериментов. Испытательное оборудование в ходе проведения экспериментов было поверено метрологическими службами.

**Личный вклад соискателя** состоит в непосредственном его участии в работе на всех этапах выполнения исследования: разработке математических моделей и методик расчета; подготовке и выполнении расчетов; постановке и проведении экспериментов; коррекции математических моделей на основе проведенных экспериментов; обработке и обобщении результатов исследования; обсуждении материалов публикаций и подготовке их к печати.

Диссертационная работа Шутемова Сергея Владимировича соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, является самостоятельной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения по совершенствованию проектирования цилиндрической линейной вентильной машины, позволяющие повысить качество проектирования и имеющие существенное значение для развития электромашиностроительной отрасли страны.

На заседании 25 апреля 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Шутемову С.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета



Сарапулов Федор Никитич

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Зозов Анатолий Михайлович

25 апреля 2018 г.