

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук

Денисенко Виктора Ивановича

на диссертационную работу Косимова Бахтиёра Исматуллоевича

«Разработка и исследование вентильного двигателя с когтеобразными полюсами привода пильгерстона для изготовления бесшовных труб»,

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

Диссертация Косимова Б.И. направлена на модернизацию и совершенствование металлургического производства. Изготовление бесшовных труб для нефтегазовой сферы является важным для экономики. Решение научных и инженерных задач в этой сфере способствует развитию самой металлургии и пополнению бюджета для развития других отраслей.

Актуальность темы

Длительное время нефтегазовая сфера и металлургия в основном эксплуатировала имеющееся оборудование, что привело ее к физическому и моральному износу. Только в последнее время на государственном уровне проявлен интерес к ее совершенствованию и развитию. Во многом текущее состояние индустрии объясняется большими капитальными затратами, которые необходимо вложить. По этой причине при модернизации этой отрасли очень важно внедрить в нее самые последние научные достижения, которые будут работать достаточно длительное время. Диссертация Косимова Б.И. направлена на реализацию этих научных задач, следовательно, представленные к защите исследования следует признать важными и актуальными. В работе предлагаются решения, являющиеся инновационными для этой сферы, внедрение которых будет способствовать дальнейшему ее развитию.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и пяти приложений. Работа изложена на 146 страницах, из них 113 страниц основного текста. Работа содержит 47 иллюстраций, 97 аналитических выражений, 3 таблицы.

В первой главе рассматриваются общие вопросы по модернизации пилигримового производства бесшовных труб, дается описание структуры существующего стана, определяются задачи по его модернизации. Проводится анализ возможных вариантов двигателей для привода. Для обеспечения требуемой надежности и энергоэффективности при модернизации привода пильгерстона для изготовления бесшовных труб сделан обоснованный выбор в пользу вентильного двигателя с когтеобразными полюсами и мощными высококоэрцитивными магнитами. Эти двигатели имеют высокие значения КПД, коэффициента мощности, перегрузочной способности и массогабаритных показателей. Такие двигатели имеют жесткие механические характеристики, аналогичные характеристикам заменяемых двигателей постоянного тока. В связи с этим их называют бесконтактными двигателями постоянного тока, в которых функции коллектора (механического инвертора) выполняет инвертор напряжения на транзисторах. Это предопределяет существенное снижение эксплуатационных расходов на ремонтные и регламентные работы и повышение надежности работы привода. Применение когтеобразных полюсов во многом определено технологией сборки крупногабаритных двигателей с постоянными магнитами. Как правило, для такой сборки требуется дорогостоящая технологическая оснастка. Для предложенной конструкции эти затраты исключены. В работе предлагается новое решение – это монтаж постоянного магнита в практически собранном двигателе, что исключает сильные магнитные тяжения при помещении индуктора в якорь. Для проектирования уникального двигателя

предлагается создать проектную систему, включающую в себя определение оптимальных основных размеров и анализ полученных конструктивных моделей.

Во второй главе разрабатывается математическая модель расчета двигателя. Конструкция электрической машины с когтеобразными полюсами известна достаточно давно, но расчет крупногабаритных магнитных систем этого типа имеет особенности. Это связано с большими потоками рассеяния, которые учитываются в разрабатываемой модели. Модель построена по методике эквивалентных схем замещения. Она достаточно проста, что позволяет ее использовать в большом количестве циклов оптимизации.

Третья глава рассматривает вопросы оптимального проектирования предложенной конструкции. Особенностью разработанной системы оптимизации является ее гибкость. Она позволяет спроектировать двигатель этого типа для широкого круга проектных заданий, которые могут возникнуть на практике. Для этого общая задача оптимизации разбита на уровни, которые позволяют для конкретной проектной ситуации фиксировать независимые переменные. В системе синтеза предусмотрено 8 таких уровней, что практически перекрывает все технические задания, которые могут возникнуть. Такой подход позволяет проектировать когтеобразные двигатели для других применений.

В четвертой главе диссертант приводит результаты электромагнитного анализа вариантов, полученных после оптимизации. В основу этого анализа положены известные, хорошо отработанные CAD системы для расчета электромеханических устройств. Этот подход следует признать весьма разумным. Но при этом известные программные средства объединены в оболочку вместе с программами оптимизации, что во многом облегчает анализ полученных вариантов. При этом соискатель показал с одной стороны хорошее понимание всех физических процессов, с другой стороны владение средствами программирования с применением алгоритмических языков высокого уровня.

Пятая глава завершает построение проектной системы. В ней приводится анализ теплового состояния спроектированного двигателя. Он очень важен в системе, так как получение необходимых параметров от двигателя еще не означает его работоспособность. Локальные перегревы и перегрев всего двигателя, который работает в тяжелых условиях, могут нарушить изоляцию и вывести его из строя. Тепловой анализ снимает эти риски. В работе решается и задача динамического нагрева во время пуска и расчет установившейся температуры после 24 часов непрерывной работы. Система оценки теплового состояния построена с использованием тепловых схем замещения для термодинамической задачи и с применением программы Ansys Icepak, реализующей метод конечных элементов и позволяющей рассчитать тепловое поле во всем объеме двигателя.

В заключении соискатель делает выводы по всей работе и определяет дальнейшие пути совершенствования созданной проектной системы.

Научная новизна

К инновации в представленном диссертационном исследовании следует отнести применение для мощного привода крупногабаритного вентильного двигателя с когтеобразными полюсами с постоянным магнитом. Мировая практика не знает таких решений для данного производства. В работе предлагается уникальная технология его сборки.

Разработку проектной системы, включающей в себя синтез и анализ, и которая способна вести расчеты для различных проектных ситуаций, так же можно отнести к научной новизне по проектированию двигателей этого класса.

Для нетрадиционного с точки зрения габаритов двигателя разработана методика его расчета. Расчетная модель построена на основе метода схем замещения и учитывает все особенности магнитной системы больших размеров, включая повышенное, по сравнению с классическими конструкциями, рассеяние магнитного потока.

Решение связанных электродинамических и термодинамических задач является одним из последних направлений развития электромеханики. Сискатель решил эту задачу для своей конструкции и получил удовлетворительные результаты.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы

В работе представлено дальнейшее развитие крупногабаритных вентильных машин с возбуждением от постоянных магнитов, в частности, методика многоуровневой оптимизации, позволяющая спроектировать машину при различных ограничениях, определяемых проектными ситуациями, метод решения связанной электродинамической и термодинамической задачи, приведение трехмерной когтеобразной системы к плоскому аналогу.

Основным практическим результатом проведенных теоретических исследований является разработка программного комплекса по проектированию крупногабаритных вентильных двигателей с когтеобразными полюсами. Он представляет собой эффективный инструмент проектирования, который позволяет, облегчить работу конструктора, сократить сроки проектирования и уменьшить число циклов на производство образцов и их испытание.

Рекомендации по использованию результатов работы

В стране осталось 4 действующих привода по производству бесшовных труб по пилигримовой технологии. Все они физически изношены и морально устарели. При этом речь не идет от отказа самой технологии. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы для замены и модернизации действующих приводов. Заказ на изготовление самого крупногабаритного двигателя с когтеобразными полюсами и постоянным магнитом может быть размещен на предприятиях, которые специализируются на этом производстве, в частности на челябинском предприятии «Русские электрические двигатели».

Отдельные части диссертации могут составить основу инженерной методики проектирования электрических машин этого класса, например расчет магнитной системы с когтеобразными полюсами.

Научные результаты могут быть внедрены в учебные процессы по подготовке инженеров электромехаников, в частности методика построения проектной системы, решение связанных задач, оптимизация геометрии электрических машин.

Достоверность результатов работы

В работе используются известные, хорошо себя зарекомендовавшие методы, такие как метод схем замещения, метод конечных элементов, методы нелинейного программирования. Корректное и грамотное их использование позволяет быть уверенным, что полученные результаты, включая основные параметры и характеристики, двигателя, оптимальные размеры, тепловое состояние достоверны и правильны. Следует отметить использование доктором последних инженерных достижений, таких как масштабное моделирование с применением технологии 3D принтера. Оно подтвердило правильность принятия конструкторских решений.

Апробация диссертации и публикации автора

Концепция и результаты научной работы широко представлены для анализа и обсуждения в научных кругах. Об этом говорит достаточно большой список конференций с международным участием и перечень публикаций автора в журналах, рецензируемых научными базами РИНЦ, Scopus и Web of Science. Об уровне исследований говорит статья в высокорейтинговом журнале квартиля Q2. В публикациях представлены все главы диссертации.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты и может быть рассмотрена в диссертационном совете УрФУ 05.01.02.

Автореферат

Автореферат дает полное представление о проведенных исследованиях. Он имеет четкую структуру изложения и логику. В нем приведены все основные выводы и результаты.

Вопросы и замечания по работе

По представленной к защите работе имеются следующие вопросы и замечания, по которым необходимо дать комментарии и пояснения.

1. В диссертации предлагается конструкция магнитной системы с когтеобразными полюсами и постоянным магнитом. Наличие постоянного магнита существенно осложняет сборку, когда ротор заводится в статор. Применение кольцевой обмотки возбуждения во многом бы упростило технологию сборки и не привело бы к усложнению конструкции, поскольку кольцевая обмотка достаточно проста. По каким причинам эта конструкция не была принята в качестве базовой для данного привода?

2. Почему в проектной системе применена столь сложная многоуровневая оптимизация, предназначенная для учета различных проектных ситуаций. Для данного привода можно ограничиться одной ситуацией. Это оптимальное проектирование в заданных габаритах, поскольку место установки двигателя определено. Такой подход во многом упростил бы систему синтеза и позволил сконцентрироваться на решение других задач.

3. Представленная проектная система состоит из отдельных блоков, и использовать ее можно только в целом. Для ее применения необходимы определенные навыки и квалификация. Почему бы ее не разбить на отдельные более простые блоки для использования в инженерной практике?

4. Привод работает на ударную нагрузку. Кривая нагрузочного момента содержит минимум и максимум. Имеются осциллограммы по динамической нагрузке привода. Почему все параметры, характеристики и оптимизация размеров ведутся для среднего значения момента? Почему проектная система не содержит механических расчетов на прочность, которые важны для данного привода с динамической нагрузкой?

5. При оценке теплового состояния ВДКП в установившемся режиме в диссертации не обоснованно использована упрощенная эквивалентная тепловая схема (ЭТС). Сток тепла в ротор осуществляется не только через пазовую изоляцию и пазовый клин со стороны ротора, а главным образом через зубцы статора. При этом явнополюсный ротор с когтеобразными полюсами имеет большую окружную скорость на внешнем диаметре (более 5м/с) и оказывает мощный вентиляционный эффект на внутренней поверхности сердечника статора, поэтому передача тепла в ротор осуществляется не теплопроводностью, а, как правило, конвективным теплообменом. Не учтен также сток тепла с лобовых частей обмотки статора. Все это привело к занижению расчетной температуры постоянных магнитов и к существенному увеличению расчетной температуры обмотки статора. Кроме того при использовании ЭТС и в 3D модели не учтены стыковые воздушные зазоры между элементами конструкции, в ряде случаев перепады температуры в них могут достигать (10 - 20) градусов.

Для решения поставленных в работе задач достаточно было использовать полную ЭТС, учитывающую основные пути передачи тепла от активных частей двигателя в окружающую среду, включая пути передачи тепла в индукторе. Процессы теплообмена в сердечниках статоров двигателей переменного поля хорошо изучены в технической литературе, а 3D модель можно было бы использовать только для тех элементов конструкции индуктора, где характер

распределения температурного поля не известен. Это даст существенную экономию времени при оценке теплового состояния машины.

6. В тексте диссертации иногда встречаются редакционные неточности. В первой главе говорится о закрытом исполнении двигателя, а в пятой главе машина исследуется как защищенного исполнения, включая масштабную физическую модель, построенную на 3D принтере. На стр. 92 слово «статора» заменено на слово «ротора», в формулах 5.2.3 и 5.2.4 толщина изоляции и площадь изоляции обозначены одинаково для разных случаев.

При учете данных замечаний теоретическая и практическая значимость диссертации была бы выше.

Заключение по диссертации

Диссертационная работа на тему: «Разработка и исследование вентильного двигателя с когтеобразными полюсами привода пильгерстана для изготовления бесшовных труб» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача разработки мощных двигателей для современного металлургического производства.

Диссертационное исследование соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.09.01- «Электромеханика и электрические аппараты» (отрасль наук - технические): пп. 2 «Разработка научных основ создания и совершенствования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов», пп. 3 «Разработка методов анализа и синтеза преобразователей электрической и механической энергии», пп. 5 «Разработка подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих проектирование, надежность, контроль и диагностику функционирования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов в процессе эксплуатации, в составе рабочих комплексов».

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ».

Косимов Бахтиёр Исматуллоевич заслуживает присвоения ученой степени **кандидата технических наук** по специальности 05.09.01- «Электромеханика и электрические аппараты».

Официальный оппонент, доктор технических наук (05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты), профессор, профессор кафедры электротехники Уральского энергетического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Денисенко Виктор Иванович
30.10.2020

620002 Екатеринбург,
ул. Мира, 19,
+7 (343) 375 45 73,
v.i.denisenko@urfu.ru



Я, Денисенко Виктор Иванович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

Подпись Денисенко В.И. заверю:

УЧЕМЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В.А.

