

**Отзыв официального оппонента  
на диссертационную работу Кадыкова Вилора Константиновича  
на тему «Моделирование и проектирование клапанных электромагнитов  
постоянного тока с различной формой полюсных наконечников»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.09.01 - Электромеханика и электрические аппараты**

**Актуальность темы диссертационного исследования** в качестве приводных электромагнитов в контакторах, магнитных пускателях, реле широко используются клапанные электромагниты с Г-образной скобой магнитопровода. Выпуск таких аппаратов в больших объемах определяет необходимость экономии медных обмоточных проводов и электротехнической стали, снижение потребляемой мощности и массогабаритных их показателей.

Успешное решение подобного рода задач, повышение конкурентоспособности отечественных аппаратов на внешнем рынке электротехнической продукции может быть осуществлено при наличии в распоряжении проектировщика эффективных методик синтеза, разработанных на основе достоверных электромагнитных характеристик и тепловых параметров, что и определяет актуальность темы диссертационного исследования.

В применяемых методиках проектного расчета, основанных на методах теории цепей, использованы недостаточно обоснованные допущения о картине магнитного поля, принимаемой плоскопараллельной и не учитывающей проводимость путей рассеяния магнитного потока с поверхности полюсного наконечника на скобу магнитопровода.

Эти и другие допущения снижают точность проектных и поверочных расчетов магнитных систем электромагнита.

Использование программных продуктов, реализующих методы теории полей, не всегда доступны из-за их высокой стоимости. Альтернативным вариантом в этом случае могут рассматриваться экспериментальные исследования, результаты которых представляются в обобщенном виде с использованием положений теории подобия и планирования экспериментов.

Такой подход выбран соискателем для решения сформулированных задач.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций** оцениваю высокой.

**Достоверность и новизна научных результатов** обеспечены использованием экспериментальных методов исследований, результаты которых обработаны методами теории подобия и планирования эксперимента; выбором апробированных методик измерения потокосцепления, магнитодвижущей силы обмоток и электромагнитного момента, серийно выпускаемым промышленностью тензометрическим датчиком силы; обоснованным выбором метода двухкратного сканирования области факторного пространства с целью поиска оптимальных соразмерностей клапанных электромагнитов постоянного тока; правильным использованием положений и методов математического анализа.

Научная новизна результатов исследований сформулирована в виде:

1. В результате обработки данных экспериментальных исследований получены обобщенные статические электромагнитные характеристики клапанных электромагнитов с круглыми, сегментными, прямоугольными полюсными наконечниками, которые в отличие от известных, непосредственно зависят от величин геометрических соразмерностей магнитной системы и усредненной магнитной индукции в сечении основания сердечника.

2. Впервые получены расчетные выражения для оценки величины магнитного потока в рабочем воздушном зазоре с учетом потока рассеяния полюсных наконечников, которые

рекомендуются для корректировки существующих методик расчета клапанных электромагнитов, базирующихся на методах теории цепей.

3. Разработана методика определения границы линейности магнитных систем постоянного тока, позволившая описать электромагнитные характеристики линейных и нелинейных клапанных магнитных систем структурно одинаковыми математическими выражениями.

4. Разработана методика проектного расчета клапанных электромагнитов постоянного тока с круглыми полюсными наконечниками на базе их обобщенных электромагнитных характеристик, полученных на основе экспериментальных исследований, выполненных методами теории подобия и планирования эксперимента. Она составляет основу оптимизационной методики расчета электромагнитов, позволяющей в отличии от известных существенно сократить количество недостаточно обоснованных выбираемых коэффициентов и соразмерностей, что обеспечивает получение достоверных результатов проектирования.

5. Получены полиномиальные зависимости оптимальных основных соразмерностей и технико-эксплуатационных параметров клапанных электромагнитов с круглыми полюсными наконечниками, которые в отличии от известных позволяют не только обеспечить более высокое качество функционирования, но и уменьшить затраты на проектирование и доработку опытных образцов.

### **Структура и основное содержание работы**

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка использованной литературы, состоящей из 209 наименований, приложений А и Б.

Диссертационная работа изложена на 204 страницах машинописного текста, содержит 23 рисунка и 41 таблицу.

**В введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цели задачи работы, научная новизна результатов, теоретическая и практическая ценность.

**В первом разделе** рассмотрены основные характеристики приводных электромагнитов, дана оценка методам расчета последних, приведены способы представления электромагнитных характеристик.

Отмечено, что при электромагнитном расчете магнитных систем методами теории цепей не учитывается поток рассеяния, сходящий с части поверхности полюсных наконечников на Г-образную скобу магнитопровода; принимается существенное упрощение картины поля рассеяния между сердечником и скобой. Это объясняет значительные погрешности расчета характеристики электромагнитов методами теории цепей. Обоснован выбор метода физического моделирования электромагнитных характеристик с использованием положений теории подобия.

На основе анализа, имеющейся в литературе информации, выбраны определяющие геометрические соразмерности и пределы их варьирования с учетом возможности их использования в проектных методиках электромагнита, работающих кратковременном и повторно кратковременном, в том числе, и форсированном режимах.

Из тех же соображений выбраны пределы варьирования усредненной по поперечному сечению в основании сердечника магнитная индукция. Описаны параметрические формы записей кривых намагничивания магнитных систем, нагрузочных характеристик, эпюр распределения магнитного потока вдоль оси сердечника и коэффициента рассеивания магнитного потока в основании сердечника.

Дана оценка погрешности аппроксимации полиномиальных зависимостей электромагнитных характеристик, которые не превышают 15%. В подавляющем числе расчетных точек матрицы эксперимента они не превышают и 5%. Ограничена допустимая область варьирования усредненной магнитной индукции в основании сердечника с значением 1,65 Тл.

**Во втором разделе** установлены границы линейности клапанных магнитных систем с различной формой полюсных наконечников. Получена математическая зависимость,

позволяющая определить долю магнитного потока, пронизывающего сечение сердечника, примыкающего к полюсному наконечнику, рабочий воздушный зазор.

Полученная математическая зависимость рекомендуется к использованию для уточнения методик расчета клапанных магнитных систем методами теории цепей. Также показана, что с целью повышения точности результатов электромагнитного расчета клапанных электромагнитов с использованием методов участков, целесообразность разбивать на более короткие промежутки магнитную систему на половине сердечника и скобы магнитопровода, прилегающих к рабочему воздушному зазору.

Показано, что при любых значениях магнитодвижущей обмотки и угловых положений якоря, не превышающих 15 градусов, существует соразмерности полюсных наконечников, обеспечивающие максимальные значения электромагнитного момента.

**В третьем разделе** дан анализ известных методик проектного расчета клапанных магнитных систем. Для объективной оценки методик выполнены расчеты на одинаковые исходные данные.

Предложена методика синтеза оптимальных клапанных электромагнитов с круглыми полюсными наконечниками на основе обобщенных электромагнитных и тепловых характеристик. С использованием этой методики рассчитаны и математически описаны геометрические соразмерности, обеспечивающие минимум массы активных материалов, их объема, стоимости, установочной площади, габаритного объема, высоты электромагнита, потребляемой мощности.

Полученные зависимости оптимальных соразмерностей позволяют сократить финансовые затраты на проектирование, уменьшить время выполнения проектных работ, повысить их качество.

**В приложениях** приведены планы эксперимента для исследования магнитных систем с сегментным и прямоугольным полюсным наконечником, анализ статических тяговых характеристик с прямоугольным полюсным наконечником (приложение А); результаты расчетов по известным методикам различных авторов (приложение Б).

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. Не раскрыта цель применения полюсных наконечников в клапанных электромагнитах постоянного тока, в частности, сегментных и прямоугольных.

2. В работе не указаны особенности алгоритмов при разработке методик проектного расчета клапанных электромагнитов с сегментными и прямоугольными полюсными наконечниками.

3. Представляется целесообразным рассмотреть методику проектирования клапанных электромагнитов на заданную тяговую характеристику, а так же форсировано управляемых, которые применяются для обеспечения уменьшения массогабаритных показателей и потребляемой мощности.

В целом работа Кадыкова Вилора Константиновича «Моделирование и проектирование клапанных электромагнитов постоянного тока с различной формой полюсных наконечников» представляет научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития электротехнической отрасли. Она написана автором самостоятельно, разделы логически взаимоувязаны, содержит новые научные результаты и положения, свидетельствует о личном вкладе соискателем в науку.

Автореферат соответствует содержанию диссертации. Предложенные Кадыковым В.К. в диссертации решения обоснованы и сопоставляются с другими известными решениями.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в 18 печатных работах, в том числе, в 6 рецензируемых научных изданиях.

В диссертации Кадыкова В.К. отсутствует заимствованный материал без ссылки на авторов и источники заимствования.

Диссертационная работа «Моделирование и проектирование клапанных электромагнитов постоянного тока с различной формой полюсных наконечников»

соответствует паспорту специальности 05.09.01. – Электромеханика и электрические аппараты, а также критериям Положения о присуждении ученых степеней, в том числе п.9-14.

Автор диссертационной работы Кадыков Вилор Константинович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01. – Электромеханика и электрические аппараты.

Официальный оппонент  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник кафедры  
электромеханики, электрических и  
электронных аппаратов  
федерального государственного  
бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования  
«Национальный исследовательский  
университет «МЭИ»»

«4 июня 2016 г.

Дергачев Павел Андреевич

полное наименование места работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

адрес: 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14

телефон: +7-495-362-77-81

e-mail: Pavel.Dergachev@gmail.com

Подпись старшего научного сотрудника, к.т.н.

Дергачев Павел Андреевич

Начальник управления по работе с персоналом

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Н. Г. Савин