

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор-проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», д.т.н., профессор



М.В. Ненашев

« 05 октября » 2023г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» на диссертационную работу Кудряшова Дмитрия Андреевича «Разработка и исследование электромеханических устройств для привода регулирующих органов ядерных энергетических реакторов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 - Электротехнические комплексы и системы.

Актуальность исследования

Для обеспечения безопасности, поддержания заданных характеристик и энергопроизводительности ядерных энергетических установок применяются исполнительные механизмы, осуществляющие перемещение и позиционирование регулирующих органов посредством специальных электромеханических преобразователей, полость ротора которых отделена от неподвижной части машины посредством толстостенной герметизирующей трубы, установленной в расточку статора. Она находится под воздействием давления, агрессивной среды и высоких температур первого контура ядерного реактора.

Компоновочные схемы электромеханических преобразователей, способных с длительным ресурсом работать в указанных условиях и электроприводов на их основе, представлены крайне ограниченным числом вариантов конструкции, на базе бесконтактных синхронных машин с вращательным или поступательным (линейным) движением ротора. Все они имеют определённые недостатки.

Поэтому работа, посвящённая поиску новых технических решений, способствующих в определённой мере устранению недостатков существующих технических решений в области электропривода для перемещения регулирующих органов ядерных реакторов, развитию математического описания таких электроприводов и методик проектирования его компонентов, является весьма актуальной и представляет несомненный практический интерес.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, показано научное и практическое значение проведенной работы. Обозначены методы исследования, представлены положения, выносимые на защиту, результаты апробации и структура работы.

В первой главе проведен анализ существующих электроприводов, которые обеспечивают позиционирование исполнительных механизмов регулирующих органов (РО) ядерных реакторов и схем управления ими, с целью определения возможных путей их совершенствования. Рассмотрены функции системы управления и защиты (СУЗ), влияющие на особенности конструкции и режимы работы электропривода РО.

Сформулированы цели и задачи работы, позволяющие устранить противоречия между требованиями к характеристикам двигательного и генераторного режимов работы электромеханического преобразователя, входящего в состав привода исполнительного механизма СУЗ в двигательном и генераторном режимах работы.

Во второй главе проведены исследования, и предложены расчетные алгоритмы для проектирования основных узлов усовершенствованного электромеханического преобразователя для привода ИМ СУЗ, представляющего собой двухмашинную сборку из индукторного двигателя и магнитоэлектрического генератора, которые установлены в одном корпусе и соединены общим валом.

Приводится развёрнутая методика проектирования индукторного двигателя с учётом нелинейных факторов (насыщения) по слаборазветвлённой модели магнитной цепи.

Описывается работа электромеханического преобразователя в генераторном режиме, и приводятся основные расчётные соотношения в генераторном режиме, исходя из заданных параметров привода.

В третьей главе исследованы режимы управления электромеханического преобразователя для электропривода регулирующего органа на точных моделях, основанных на использовании метода конечных элементов, рассчитаны осциллограммы пуска привода, механическая характеристика генератора и определена форма импульсов тока в фазах двигателя, позволяющая минимизировать колебания движения ротора.

В четвертой главе предложены технические решения для дополнительных вариантов реализации электромеханических преобразователей в приводах КГ и АЗ, которые обеспечивают расширенные возможности по достижению заданного закона движения РО.

Описаны устройства, позволяющие использовать генератор в качестве датчика положения РО, линейный двигатель, генератор с регулированием скорости движения РО под действием собственного веса путём подмагничивания спинки от автономного источника. Представлены описания конструкций и результаты расчётных исследований этих устройств.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

Основные результаты диссертации

В итоге проделанной работы, решены следующие задачи:

1) Проведён анализ существующих конструкций электроприводов СУЗ, на его основании определён состав устройств электропривода с расширенными возможностями, позволяющими наиболее гибко осуществлять силовое воздействие на регулирующий орган с целью обеспечения его движения по заданному закону.

2) Выявлены перспективные конструкции электромеханических преобразователей, состав которых подтверждён патентами на изобретения, использование которых обладает более широкими возможностями по обеспечению заданного закона движения регулирующего органа, и предложена концептуальная схема электромеханического преобразователя, состоящего из индукторного двигателя и магнитоэлектрического генератора; обеспечивающая лучшие технические показатели, за счёт электромагнитного разделения функций двигателя и генератора;

3) Для каждого из устройств: двигателя и генератора, обеспечивающих выполнение разделённых функций в приводах исполнительных механизмов СУЗ, разработаны методики проектирования, предложено математическое описание и специальное ПО, позволяющее выполнять проектирование, моделирование и численный анализ с использованием расширенных возможностей современной вычислительной техники и пакетов прикладных программ;

4) Спроектированы, изготовлены и проведены численные и натурные исследования компонентов электромеханического преобразователя с разделением функций двигателя и генератора (тормоза) в одном приводе ИМ СУЗ;

5) На основании проведённых исследований подтверждена достоверность разработанных методик проектирования и численного анализа двигателя и генератора составляющих основу конструкции перспективного электромеханического преобразователя для привода ИМ СУЗ;

6) Предложены технические решения, в том числе одно из них на уровне изобретения, которые позволяют расширить область применения электромеханических преобразователей в приводах КГ и АЗ, упростить кинематическую схему этих приводов и обеспечить дополнительные возможности по настройке заданной скорости опускания РО в режиме АЗ.

После испытаний изготовленных образцов, компоненты электромеханического преобразователя вошли в комплект поставочных изделий для ИМ СУЗ промышленных установок ядерной энергетики.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1) предложено, на уровне изобретения, для движения регулирующих органов по заданному закону в режиме аварийной защиты, использовать отдельный электромеханический преобразователь с постоянными магнитами на роторе, работающий на третьей гармонике поля якоря;

2) разработаны усовершенствованные методики проектирования и компьютерного моделирования электромеханических преобразователей индукторного типа и с постоянными магнитами на роторе, работающих на третьей гармонике поля якоря;

3) в программной среде ANSYS (APDL) создана компьютерная программа, которая предназначена для генерации сеточных моделей электромеханических преобразователей методом конечных элементов; расчёты по ней позволили проверить и подтвердить правильность разработанных методов проектирования и математического моделирования;

4) предложены и проанализированы дополнительные конструкции электромеханических преобразователей, использование которых обеспечивает расширенные возможности по достижению заданного закона движения РО.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов

диссертационной работы заключается в обосновании и разработке:

- устройств, позволяющих повысить быстродействие электропривода вертикального перемещения регулирующего органа при переходе в режим аварийной защиты путём отсоединения от источника электрической энергии;

- математических моделей для проведения численных исследований при проектировании устройств, применение которых повышает быстродействие работы привода вертикального перемещения РО в режиме аварийной защиты;

- математических моделей, позволяющих выполнять поверочные расчеты спроектированных двигателей методом конечных элементов;

- материала для опытно-конструкторских работ по исследованию перспективных типов электрических машин, обеспечивающих достижение заданного закона движения РО при обесточенном двигателе.

Реализация результатов работы

Основные положения и рекомендации диссертационной работы использованы:

– в АО «ОКБМ «Африкантов», при выполнении проектных и конструкторских работ, результаты которых использованы в фактически изготовленных изделиях;

– научным руководителем при разработке учебных пособий по дисциплине «Электропривод».

Обоснованность и достоверность результатов исследования обеспечивается использованием фундаментальных методов математической физики (метода конечных элементов и специального программного обеспечения, реализующего этот метод) и теории поля, теории электрических и магнитных цепей, теории электромеханического преобразования энергии, уравнения связи между электромагнитными нагрузками и главными размерами машины, результатами натуральных исследований и экспериментов.

По материалам диссертации опубликовано 15 работ, включая 4 статьи в периодических журналах, рекомендованных ВАК, 2 перевода в иностранных журналах, 7 статей в материалах Международных и Всероссийских конференций, 2 патента на изобретения.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы.

Замечания по работе:

1. Термин «механические характеристики генераторного режима» (рис.1.15) не понятен.

2. При модернизации привода высказано предположение о недостатках магнитного совмещения двигателя и генератора в общем магнитопроводе. Однако труды отечественных ученых в области совмещенных электрических машин (Скороспешкин А.И., Костырев М.Л., Попов В.И) указывают на неоспоримые преимущества в виде уменьшения габаритов, массы, особенно для ЭМП малой и средней мощности.

3. В формулах 2.12 и 2.14, очевидно, правильным будет в качестве диаметра использовать диаметр расточки статора, а не диаметр ротора.

4. Не ясен смысл положения «Рассмотрим задачу определения электромагнитного момента магнитоэлектрического генератора с ротором, который работает на ёмкостную нагрузку» (с.72).

5. Какие постоянные магниты применены в конструкции генератора, если температура окружающей среды 150 град.?

6. Использование немагнитной гильзы не приводит к приближению распределения поля в зазоре к синусоидальному. Какова общая величина немагнитного зазора?

