

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу

Нестерова Сергея Александровича

«Совершенствование моделей и конструкций поршневых
электромеханических магнитожидкостных демпферов»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.09.01 - «Электромеханика и электрические аппараты»

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Нестерова С.А. посвящена проблеме совершенствования математических моделей и разработке новых конструкций поршневых электромеханических магнитожидкостных демпферов.

Достижения информационных технологий стимулируют технику к поиску новых материалов для «интеллектуальных» исполнительных устройств. Несомненно, одним из таких материалов является магнитная жидкость (МЖ). Наибольшее распространение магнитная жидкость и устройства на ее основе получили в управляемых подвесках транспортных средств. Тем не менее, имеются сведения и о других областях использования. В частности, в виброзащите зданий и сооружений; протезах конечностей; трубопроводах и пр. В отечественной науке и технике, к настоящему моменту вопросы разработки магнитожидкостных устройств и систем на их основе развиты не в полной мере.

В связи с изложенным, тема диссертации Нестерова С.А., посвященная совершенствованию математических моделей и конструкций поршневых электромеханических магнитожидкостных демпферов, безусловно, актуальна.

Структура диссертации и основные результаты

Диссертационная работа содержит введение, четыре главы основного текста, заключение, список использованной литературы из 86 наименований и приложения. Основная часть содержит 118 страниц текста, 76 рисунков и 1 таблицу. Диссертация имеет внутреннее единство, написана с использованием корректных технических терминов.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены объект и предмет исследования. Сформулирована цель исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, их научная новизна, приведены основные результаты работы, их теоретическая и практическая значимость.

В первой главе анализируется динамика публикационной активности по магнитореологическим демпферам колебаний за период с 1998 по 2017 год и показан продолжающийся рост интереса к указанной тематике. Рассматривается типичный состав магнитореологической жидкости, ее характеристики и влияние на них механических, электрических и тепловых воздействий. Обоснована необхо-

димость взаимного учёта механических, электрических и тепловых воздействий при разработке математических моделей. Дополнительно показано, что существующие аналитические модели, служащие для описания работы демпфера, основаны на предположении о полностью развитом течении МЖ и не учитывают нелинейности её реологических характеристик. Проанализированы достоинства и недостатки существующих конструкций магнитореологических демпферов и отмечены их возможные направления совершенствования. Представлены выводы по первой главе и задачи исследования.

Во второй главе рассмотрено напорное течение магнитной жидкости в щелевом канале, находящемся во внешнем магнитном поле. Проведён анализ влияния параметров магнитной жидкости на профиль скорости течения в зазоре демпфера.

Предложен подход для расчёта силовых характеристик электромеханического магнитожидкостного демпфера, основанный на разбиении реологической кривой МЖ на два участка с различными вязкостями. Показано, что получаемые по результатам расчета по разработанной методике данные, для развитого течения, хорошо согласуются (разница не более 5%) с известными моделями (в частности, моделью Бингама-Шведова) и экспериментальными результатами других исследователей. Сформулированы выводы по главе.

В третьей главе исследованы особенности, которые следует учитывать при моделировании магнитореологического демпфера с учетом влияния механического, электрического и теплового воздействия. Разработана конечно-элементная имитационная модель для исследований в программе *COMSOL Multiphysics* и указаны условия ее применимости. Исследовано влияние нелинейности свойств магнитореологической жидкости на вид силовой характеристики демпфера. Предложена аналитическая зависимость для учета влияния температуры нагрева магнитной жидкости на ее реологические свойства. С помощью разработанных моделей проведены расчетные исследования магнитных, феррогидродинамических и тепловых процессов в электромеханическом магнитореологическом демпфере. Установлено их существенное взаимное влияние друг на друга. Проведено сравнение силовых характеристик, полученных расчетом по известным зависимостям Бингама-Шведова, разработанной методике и в программном комплексе *COMSOL Multiphysic*. Сделан вывод об их соответствии и обоснованы расхождения на различных режимах работы демпфера. Сформулированы выводы по главе.

Четвёртая глава посвящена совершенствованию конструкции электромеханических магнитожидкостных демпферов и экспериментальному исследованию усовершенствованной конструкции демпфера. Описаны особенности конструкции усовершенствованного демпфера и разработанной экспериментальной установки для исследования характеристик демпфера. Даны характеристи-

ки измерительного оборудования и используемой магнитореологической жидкости. Представлены результаты экспериментального исследования конструкции магнитореологического демпфера с магнитным и немагнитным поршнем. На основе анализа полученных силовых характеристик усовершенствованной конструкции демпфера установлено, что на них влияет возникающий эффект магнитной пружины, приводящий к их несимметричному виду. Сопоставлением результатов экспериментального исследования с расчетными данными, полученными по результатам конечно-элементного моделирования, сделан вывод об их согласованности. При этом, отклонение экспериментальных данных от расчетных не более 7%. Предложен защищенный документами на интеллектуальную собственность вариант технической реализации промышленного образца демпфера с учетом усовершенствований. Сформулированы выводы по главе.

В заключении обобщаются полученные результаты, делается вывод о достижении поставленных целей, формулируются рекомендации по использованию результатов исследования, определяются направления дальнейшей работы.

Новизна исследований и полученных результатов

Научная новизна работы определяется учетом при расчете силовых характеристик магнитореологического демпфера взаимного влияния магнитных, гидродинамических и тепловых процессов, что позволяет повысить точность расчета, особенно при малой скорости сдвига магнитной жидкости в зазоре между поршнем и корпусом.

К наиболее существенным новым научным результатам, полученным в работе, следует отнести следующие:

1. Разработанные математические модели электромеханического магнитожидкостного демпфера, отличающиеся учетом влияния магнитной индукции и температуры, нелинейности магнитореологических характеристик, напряжения начального сдвига, профиля скорости течения МЖ в канале демпфера при воздействии внешнего магнитного поля на силу сопротивления демпфера.
2. Разработанные методики расчетов силовых характеристик электромеханических магнитожидкостных демпферов, позволяющие повысить точность определения силовых характеристик демпфера, особенно при малой скорости сдвига магнитной жидкости в зазоре между поршнем и корпусом.
3. Результаты аналитических исследований влияния взаимосвязанных магнитных, гидродинамических и тепловых процессов на силовые характеристики электромеханических магнитожидкостных демпферов.

4. Результаты экспериментального исследования усовершенствованной конструкции магнитореологического демпфера колебаний на разработанной экспериментальной установке.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертационной работе, обоснованы системным анализом работ в области современного состояния, развития и совершенствования магнитореологических демпферов колебаний. В работе рассмотрены основные существующие модели физических процессов в магнитореологическом демпфере колебаний, их преимущества и недостатки. В специализированных инженерных программах проанализировано взаимосвязанное влияние магнитных, гидродинамических и тепловых процессов на силовую характеристику демпфера. Экспериментальные исследования выполнены на разработанной установке, включающей в себя блоки промышленно выпускаемого информационно-измерительного оборудования. С удовлетворительным значением расхождения (7%) экспериментальных значений от теоретических, подтверждены результаты расчетов по разработанным математическим моделям.

Таким образом, предложенные в диссертационной работе научные положения, выводы и рекомендации, можно признать вполне обоснованными.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность полученных результатов исследования определяется корректным использованием соответствующего математического аппарата, подробной оценкой и научным обоснованием принятых допущений и подтверждена сравнением расчетных данных с результатами экспериментального исследования.

Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций

В диссертационной работе научный интерес представляют разработанные математические модели; результаты имитационного моделирования; результаты расчетов силовой характеристики демпфера; результаты экспериментального исследования.

Практической значимостью в работе обладают разработанные методики и алгоритмы расчета, позволяющих учитывать влияние на силу сопротивления магнитореологического демпфера электромагнитных, тепловых и гидродинамических воздействий; экспериментальная установка для исследования различных конструкций магнитореологических демпферов; усовершенствованная конструкция магнитореологического демпфера колебаний; рекомендации по направлениям дальнейшего совершенствованию конструкций.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация имеет внутреннее единство, написана ясным языком с использованием принятой, для данной технической области терминологии. Содержание автореферата в достаточной мере отражает материал диссертации. Рисунки выполнены с соблюдением стандартов. Основные результаты диссертации опубликованы в 27 печатных работах, из них 4 статьи в изданиях по списку ВАК, 1 статья в журнале, входящем в базы Web of Science и Scopus, 4 патента РФ, 18 работ в других российских и зарубежных изданиях. Содержание диссертации отражено в публикациях автора с требуемой полнотой.

Основные результаты диссертационной работы приняты к использованию в учебном процессе на кафедре «Электромеханика» (ФГБОУ ВО ИГЭУ им. В.И. Ленина, г. Иваново), а также в НПЦ «СплавТест», что подтверждено соответствующими Актами внедрения.

Соответствие диссертации научной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты» по заявляемым пунктам: «... специальность, объединяющая исследования по физическим и техническим принципам создания и совершенствования силовых ... устройств для взаимного преобразования электрической и механической энергии»; в части области исследования: п.1 «Анализ и исследование физических явлений, лежащих в основе функционирования ... электромеханических преобразователей и электрических аппаратов»; п.3 «Разработка методов анализа и синтеза преобразователей электрической и механической энергии»; п.5 «Разработка подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих проектирование ... электромеханических преобразователей и электрических аппаратов ...».

Замечания по работе

1. В работе анализируется публикационная активность за период с 1998 по 2017 год. Однако, многие основополагающие положения теории магнито-реологических демпферов, изложенные в трудах отечественных исследователей, например, научной школы Гордеева Б.А., в работе не отражены.
2. Вызывают вопросы некоторые формулировки. Например, в задачах исследования п.6 - «Разработка опытного стенда и экспериментальные исследования свойств и характеристик ЭМЖД». Разработка стенда не является научной задачей – это задача опытно-конструкторской работы. Более корректна формулировка «Исследование усовершенствованной конструкции ЭМЖД с целью экспериментального подтверждения разработанных уточненных математических моделей».

3. Не понятен смысл предложения «кривая З соответствует течению с сохранённой структурой МЖ, жесткость которой определяется концентрацией магнитной фазы МЖ и интенсивностью внешнего магнитного поля, $t_0 = 1,0$ Па». Дополнительно, возникает вопрос почему «интенсивность внешнего магнитного поля» (которая по сложившейся в электротехнике терминологии характеризуется индукцией) измеряется в Паскалях?

4. Учет влияния тепловых процессов на силовые характеристики ЭМЖД при имитационном моделировании, предлагается осуществлять с помощью выражения (3.10) на стр. 57, которое выведено по результатам анализа публикации №21 в списке литературы диссертации. По указанному выражению возникают следующие вопросы:

- как учитывает входящий в выражение (3.10) температурный коэффициент физические свойства разных сортов магнитных жидкостей: с более густой основой для тропического климата или менее жидкой основой для арктического климата?
- чем обусловлены различия с известным выражением для зависимости эффективной вязкости магнитной жидкости от температуры (2.31) на стр.86 книги Фертман В.Е. Магнитные жидкости. – Мин.: Выш.шк., 1988 – 184 с?

5. На рис.3.21 представлен график силы сопротивления ЭМЖД для индукции 0,25Тл. На нем представлена кривая З полученная по результатам моделирования. При этом, на стр.67 указано, что она получена «...как произведение падения давления на поршне и площади поперечного сечения», т.е. фактически получена по графикам на рис.3.20. Остается непонятным, для какой точки высоты поршня получены эти графики?

6. На рис.2.1 (стр.30) не представлены расшифровки обозначений. Более того, далее на стр.31 используется обозначение « L – длина щелевого канала», которое не соответствует схеме на рис.2.1.

Заключение

Приведенные замечания не снижают научный уровень и практическую значимость работы. В целом диссертация Нестерова Сергея Александровича на тему «Совершенствование моделей и конструкций поршневых электромеханических магнитожидкостных демпферов» представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение проблемы, имеющей важное значение для развития отечественной виброзащитной техники на основе магнитореологических демпферов колебаний, что соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013

года), предъявляемым ВАК Министерства науки и высшего образования РФ к кандидатским диссертациям, а её автор Нестеров Сергей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 - «Электромеханика и электрические аппараты».

Официальный оппонент, кандидат технических наук (специальность 05.09.03), доцент кафедры «Электромеханика и автомобильное электрооборудование» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

Рандин Дмитрий Геннадьевич

Подпись Рандина Дмитрия Геннадьевича заверяю:

Секретарь ученого совета СамГТУ, д.н.н.

Малиновская Ю.А.

Ф.И.О., представившего отзыв Рандин Дмитрий Геннадьевич

Почтовый адрес организации: 443100, г.Самара, ул. Молодогвардейская, 244.

Сайт: <http://samgtu.ru>

Адрес электронной почты: em@samgtu.ru

Наименование организации: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», кафедра «Электромеханика и автомобильное электрооборудование».

Тел. +7 846 242 11 78 (кафедра), +7 846 278 43 53 (канцелярия).

Факс: (846) 278-44-00.

Дата составления отзыва: « 01 » февраля 2019 г.