

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.05

Соискатель: Шалашилин Александр Дмитриевич

Тема диссертации: Моделирование гистерезиса при нестационарных колебаниях механических систем

Специальность: 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 5 июня 2019 года, протокол 33, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Шалашилина А.Д. является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Шалашилина А.Д. отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании 18 декабря 2019 года, протокол 33, диссертационный совет принял решение присудить Шалашилину А.Д. ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: Заместитель председателя диссертационного совета Фирсанов В.В., ученый секретарь диссертационного совета Федотенков Г.В.

Члены диссертационного совета: Антуфьев Б.А., Бирюков В.И., Вестяк В.А., Гришанина Т.В., Дмитриев В.Г., Дудченко А.А., Кузнецов Е.Б., Мовчан А.А., Нерубайло Б.В., Рабинский Л.Н., Рыбаков Л.С., Сибиряков А.В., Сидоренко А.С., Солдатенков И.А., Туркин И.К., Тютюнников Н.П.

Заместитель председателя
диссертационного совета Д 212.125.05
д.т.н., профессор

Фирсанов В.В.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.125.05
к.ф.-м.н., доцент



Федотенков Г.В.

И.о. начальника отдела УДС МАИ
Т.А. Аникина

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «18» декабря 2019 г. № 33

О присуждении Шалашилину Александру Дмитриевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Моделирование гистерезиса при нестационарных колебаниях механических систем» по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» принята к защите «14» октября 2019 г., протокол № 32 диссертационным советом Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 – № 105/нк от «11» апреля 2012 г.

Соискатель Шалашилин Александр Дмитриевич, 1987 года рождения, в 2009 году окончил Колледж Лондонского университета по специальности «Физика». Диплом "Masters of Science", выданный Университетским колледжем Лондона (University College London) соответствует диплому магистра высшего учебного заведения Российской Федерации согласно Распоряжению Правительства РФ от 20.04.2019 № 798-р "Об утверждении

перечня иностранных образовательных организаций, который выдают документы об образовании и (или) квалификации, признаваемых в Российской Федерации". Документ находится в свободном доступе по интернет-ссылке <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71196572/>.

В период 2009-2012 гг. Шалашилин А.Д. работал в ФГБУН Институте прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН) в должности младшего научного сотрудника. Одновременно Шалашилин А.Д. в период с 02.11.2009 г. по 25.06.2012 г. обучался в очной аспирантуре ИПРИМ РАН по профилю подготовки 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

С 2012 г. по 2017 г. Шалашилин А.Д. – специалист промышленного предприятия ЗАО «Электросетьстройпроект». С 2017 г. по настоящее время соискатель работает в ООО «Интрон-Плюс» в должности специалиста по экспорту и одновременно с 01.09.2019 г. продолжает своё обучение в аспирантуре ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (МАИ)» (кафедра 602) по профилю подготовки 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Диссертация выполнена в «Отделе механики структурированной и гетерогенной среды» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН) и на кафедре 602 «Проектирование и прочность авиационно-ракетных и космических изделий» института № 6 «Аэрокосмический» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ).

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Данилин Александр Николаевич, старший научный сотрудник, заместитель директора ИПРИМ РАН по научной работе, заведующий базовой кафедрой

910-Б Института № 9 «Общеинженерной подготовки» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»).

Официальные оппоненты:

Фельдштейн Валерий Адольфович, доктор технических наук, главный научный сотрудник АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (АО «ЦНИИмаш»), профессор базовой кафедры МФТИ;

Темнов Александр Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»** в своём положительном заключении, подписанном заведующим кафедрой математического и компьютерного моделирования, доктором физико-математических наук, доцентом Блинковым Юрием Анатольевичем, указала, что диссертационная работа Шалашилина А.Д. выполнена на высоком уровне, как в научном, так и практическом отношении. В результате проведенных экспериментальных исследований сформулированы достаточно общие свойства гистерезисных процессов, которые легли в основу математических формулировок двух новых феноменологических моделей гистерезиса. В заключении отмечено, что значительный научный интерес представляет кинематическая модель гистерезиса, которая была использована автором для моделирования и анализа нелинейных колебаний двух сложных диссипативных систем с гистерезисом энергорассеяния – гасителя пляски проводов воздушных ЛЭП и реовискозиметра, где в качестве «рабочего тела» применялась электрореологическая среда.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Российских и Международных конференциях и симпозиумах. Работа выполнена при поддержке ФЦП Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение № 14.604.21.0188, ID RFMEFI60417X0188).

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, из которых 2 опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, и 2 – в журналах, цитируемых интернет-платформой Web of Science. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Данилин А.Н., Курдюмов Н.Н., Тарасов С.С., Шалашилин А.Д. Моделирование гистерезиса энергорассеяния на примере колебаний гасителя пляски проводов ЛЭП // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2014. – Вып. 6. – С.110-118.

Разработана математическая модель гистерезиса энергорассеяния в условиях нестационарных колебаний гасителя низкочастотных колебаний с целью определения геометрических, массовых и упругих параметров конструкции. Для описания гистерезиса предлагается кинематическая модель, согласно которой силовые и кинематические параметры гасителя связываются специальным дифференциальным уравнением первого порядка, коэффициенты которого определяются по экспериментальным данным для предельного гистерезисного цикла.

2. Danilin A.N., Shalashilin A.D. Hysteresis modelling of mechanical systems at nonstationary vibrations // Mathematical Problems in Engineering. – Vol.2018. – Article ID 7102796. – 15 p.; doi:10.1155/2018/7102796.

Для описания гистерезиса предлагается модель, в соответствии с которой силовые и кинематические параметры связываются специальным дифференциальным уравнением первого порядка. В отличие от модели Бук-Вена, правая часть этого уравнения подбирается в виде полинома от двух переменных, определяющих траекторию гистерезиса на диаграмме процесса. Коэффициенты в правой части определяются по экспериментальным данным

для объемлющего гистерезисного цикла в условиях установившихся колебаний. Предлагаемый метод позволяет одним дифференциальным уравнением описать траекторию гистерезиса с произвольной точкой старта внутри области объемлющего цикла. В качестве примера рассмотрена задача о вынужденных колебаниях гасителя маятникового типа для демпфирования низкочастотных колебаний. Рассмотрены гасители, которые используются для демпфирования низкочастотных колебаний проводов воздушных линий электропередачи. Предложен алгоритм анализа эффективности энергорассеяния гасителей колебаний, позволяющей оптимизировать конструкцию гасителей на стадии проектирования.

3. Danilin A.N., Yanovsky Yu.G., Semenov N.A., Shalashilin A.D. Kinematic model of the rheological behavior of non-Newtonian fluids in conditions of nonstationary cyclic loading // Composites: Mechanics, Computations, Applications: An International Journal. – 2012. – Vol.3. – №4. – P.1-15; doi:10.1615/CompMechComputApplIntJ.v3.i4

Исследуются реологические свойства неньютоновских жидкостей в условиях нестационарного циклического нагружения. Строится кинематическая модель течения на основе дифференциального уравнения с коэффициентами, идентификация которых осуществляется с использованием кривых течения для предельных циклов. Учитывается энергорассеяние, имеющее выраженный гистерезисный тип. Аппроксимации строятся с использованием полилинейных форм реологических параметров. На примере кривых течения электрореологической суспензии с дисперсной фазой на основе наноразмерных частиц полиимида представлена реологическая модель, учитывающая нестационарность циклического нагружения по предписанному закону изменения скорости сдвига.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:
от ведущей организации и официальных оппонентов отзывы положительные;
от **Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский**

университет "МЭИ", подписанный заведующим кафедрой «Робототехника, мехатроника, динамика и прочность машин» доктором технических наук, профессором И.В. Меркурьевым, заверенный заместителем начальника управления по работе с персоналом Л.И. Полевой, отзыв положительный;

от **Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения имени А.А. Благоданова Российской академии наук**, подписанный главным научным сотрудником, заслуженным деятелем науки РФ, доктором технических наук, профессором Г.Я. Пановко, заверенный специалистом по кадрам М.Б. Бурцевой, отзыв положительный;

от **Федерального государственного бюджетного общеобразовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ – КАИ)»**, подписанный Паймушиным Виталием Николаевичем, доктором физико-математических наук, академиком Академии Наук Республики Татарстан, профессором, главным научным сотрудником, профессором кафедры «Прочность конструкций», заверенный начальником управления делами КНИТУ – КАИ Огневым А.А., отзыв положительный;

от **Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ)»**, подписанный ведущим научным сотрудником НИО-19, кандидатом технических наук А.Н. Корякиным, заверенный заместителем генерального директора ФГУП «ЦАГИ» М.Ч. Зиченковым, отзыв положительный;

от **ООО «Инженерный центр ОРГРЭС»**, подписанный генеральным директором Р.С. Кавериной, отзыв положительный;

от **ООО «ПЛП РУС»**, подписанный директором по производству А.П. Захаровым, отзыв положительный;

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам,

отмечены актуальность, новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая значимость.

В поступивших отзывах имеются следующие наиболее значимые замечания.

1. В обзорной части работы не отмечены заслуживающие того исследования Е.С. Сорокина, Г.С. Писаренко и В.А. Пальмова по частотнонезависимому внутреннему трению и исследования А.Ю. Ишлинского и Ю.И. Кадашевича по циклическим микропластическим деформациям, положившие начало широко применяемой на практике концепции комплексного модуля упругости.

2. В третьей главе даётся также описание кинематической модели, основанной на использовании обыкновенного дифференциального уравнения с правой частью в виде полинома от двух переменных – параметров, описывающих гистерезисную траекторию на диаграмме состояния. В работе явно не сказано, как выбирались целочисленные параметры верхних пределов суммирования. Было бы желательно представить результаты параметрического анализа зависимости решения от этих целочисленных параметров.

3. Теоретически не исследован вопрос об асимптотической устойчивости решения, то есть асимптотического приближения локальных кривых к кривым объемлющего цикла.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, а ведущая организация проводит исследования в области нелинейной динамики диссипативных систем.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны две феноменологической модели гистерезиса, одна из которых формулируется в виде алгоритма с использованием «опорных»

кривых нагружения, вторая – в виде обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка со специальной правой частью, содержащей функцию-переключатель, определяющую направление течения процесса;

предложены новые феноменологические модели гистерезиса и алгоритмы расчета эффективности энергорассеяния гасителями колебаний;

доказана применимость разработанных методов и алгоритмов для численных расчетов и оценок эффективности энергорассеяния устройств демпфирования колебаний;

новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны фундаментальные положения предложенных методов, вносящие существенный вклад в развитие эффективности расчета динамического поведения конструкций и сложных систем с гистерезисом энергорассеяния;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс существующих базовых положений механики и общие подходы нелинейной динамики деформируемых систем;

изложены этапы построения математических моделей гистерезиса, а также нелинейных колебаний двух диссипативных систем с гистерезисом энергорассеяния – маятникового гасителя торсионно-демпферного типа и механической системы «реовискозиметр – электрореологическая среда», для которых выполнены экспериментальные исследования с целью идентификации параметров математических моделей гистерезиса;

раскрыты особенности гистерезисных процессов в условиях нестационарного внешнего нагружения;

изучены степени влияния конструктивных параметров маятниковых гасителей на эффективность диссипации энергии колебаний;

проведен большой объем экспериментальных исследований с целью изучения свойств гистерезисных процессов и идентификации параметров

предложенных феноменологических моделей по экспериментальным результатам.

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

разработаны новые математические модели для описания гистерезисных зависимостей между параметрами состояния двух механических систем – маятникового гасителя торсионно-демпферного типа и механической системы «реовискозиметр – электрореологическая среда»;

определены направления практического использования результатов исследований, в частности, – для расчета эффективности энергорассеяния гасителя пляски проводов воздушных ЛЭП;

создана математическая модель нелинейных колебаний гасителя пляски проводов ЛЭП с учётом гистерезиса диссипации энергии;

представлены рекомендации и предложения для усовершенствования конструкций маятниковых гасителей торсионно-демпферного типа.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных соотношениях механики и результатах обширных экспериментальных исследований гистерезисных процессов в элементах сложных систем;

идея базируется на экспериментально подтверждённом факте асимптотического приближения (притяжения) гистерезисных кривых локальных (внутренних) циклов к соответствующим кривым объемлющего цикла, который строится по экспериментальным данным для максимально допустимого диапазона изменения параметров процесса;

использованы сравнения авторских результатов численного расчета характеристик движения с результатами авторских экспериментальных исследований характеристик движения маятникового гасителя;

установлено качественное и количественное соответствие результатов расчета с результатами, полученными автором в результате экспериментальных исследований;

использованы современные программы для численного интегрирования по времени систем нелинейных дифференциальных уравнений.

Личный вклад соискателя состоит в:

проведении обширных экспериментальных исследований динамических характеристик двух диссипативных систем – маятникового гасителя торсионно-демпферного типа и механической системы «реовискозиметр – электрореологическая среда»; разработке математических моделей гистерезиса и идентификации параметров моделей по данным экспериментальных исследований, построении алгоритмов численных решений, анализе результатов вычислений и экспериментальных исследований.

На заседании 18 декабря 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Шалашилину А.Д. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 19, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя диссертационного
совета Д 212.125.05 д.т.н., профессор

Фирсанов В.В.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.05 к.ф.-м.н., доцент

Федотенков Г.В.

И.о. начальника отдела УДС МАИ

Т.А. Аникина

18.12.2019 г.