

## Отзыв научного руководителя

о диссертанте Шалашилине Александре Дмитриевиче и его диссертации на тему «Моделирование гистерезиса при нестационарных колебаниях механических систем», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

Шалашилин Александр Дмитриевич является выпускником Колледжа Лондонского университета, который он окончил в августе 2009 года по специальности «Физика».

В период 2009-2012 гг. Шалашилин А.Д. – младший научный сотрудник ИПРИМ РАН. За этот период им выполнены экспериментальные работы по изучению физико-механических и реологических свойств магнито- и электроуправляемых сред. В результате этой работы были сформулированы достаточно общие свойства гистерезисных процессов, которые легли в основу математических формулировок двух феноменологических моделей гистерезиса. Одновременно Шалашилин А.Д. в период с 02.11.2009 г. по 25.06.2012 г. обучался в очной аспирантуре ФГБУН Института прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН, г. Москва) по профилю подготовки 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

С 2012 г. по 2017 г. Шалашилин А.Д. – специалист промышленного предприятия ЗАО «Электросетьстройпроект», где занимался разработкой и тестированием технических устройств по защите проводов воздушных линий электропередачи от колебаний и других внешних механических воздействий. Им были проведены уникальные эксперименты по исследованию эффективности гасителей низкочастотных колебаний, которые устанавливаются в пролётах ЛЭП для гашения пляски проводов. На специализированном стенде получено множество гистерезисных зависимостей кинематических параметров от параметра внешнего воздействия. Экспериментальные данные были использованы далее для идентификации параметров разработанных математических моделей,



которые позволили теоретически оценивать эффективность энергорассеяния различных вариантов конструкции гасителя.

С 01.09.2019 г. по 31.01.2020 г. Шалашилин А.Д. продолжил своё обучение в аспирантуре ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (кафедра 602 «Проектирование и прочность авиационно-ракетных и космических изделий» Института № 6 «Аэрокосмический» МАИ) по профилю подготовки 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры», соответствующей теме диссертационной работы.

В ходе работы над диссертацией Шалашилин А.Д. продемонстрировал глубокие знания в области механики деформируемых конструкций и механизмов, отличное владение экспериментальной техникой, а также математическим аппаратом и вычислительной техникой.

**Актуальность темы** диссертации обусловлена, прежде всего, малой изученностью нестационарных гистерезисных процессов в динамике сложных систем. К таким системам, например, относятся композитные материалы и конструкции с внутренним демпфированием гистерезисного типа (например, провода, тросы и кабели); упругие конструкции с гистерезисными устройствами гашения колебаний; гистерезисные устройства – муфты и электродвигатели, амортизаторы, демпферы и гасители различных конструктивных схем и различного применения. Для динамических систем с гистерезисом зависимости между силовыми и кинематическими параметрами имеют циклический характер. На диаграммах деформирования траектория каждого цикла имеет форму петли, которая образуется двумя кривыми, соответствующими процессам роста и убывания параметра внешнего воздействия (нагрузки). В условиях нестационарных колебаний гистерезисные петли процесса могут значительно отличаться друг от друга как по размерам и форме, так и по относительному расположению в пределах возможных изменений параметров системы. В этой связи, аналитическое согласование гистерезисных кривых соседних циклов



представляет собой непростую задачу, решению которой посвящены работы многих исследователей в различных научно-технических областях.

В настоящее время имеется достаточно много нерешенных задач о колебаниях динамических систем с гистерезисом энергорассеяния. Для таких задач используются нелинейные физические соотношения, которые могут выступать в качестве неголономных связей. Часто трудности усугубляются нелинейностью геометрической, связанной с большими перемещениями и углами поворотов элементов системы. Эти задачи весьма актуальны в настоящее время и некоторым из них посвящена рассматриваемая работа.

Разработанные математические модели и решенные в диссертации задачи являются оригинальными и имеют научную новизну и большую значимость для современной науки, и техники.

**Новые результаты**, полученные в диссертационной работе:

- Выполнены экспериментальные исследования гистерезиса энергорассеяния двух сложных диссипативных систем – маятникового гасителя торсионно-демпферного типа и механической системы «реовискозиметр – электрореологическая суспензия», которые легли в основу формулировок двух феноменологических моделей.
- Разработана феноменологическая модель гистерезиса с использованием опорных или «скелетных» кривых нагружения, которые строятся на основе серии типовых экспериментов и используются далее в качестве криволинейной координатной сетки, позволяющей моделировать траекторию между кривыми «нагрузки-разгрузки» цикла установившихся колебаний с максимальной амплитудой.
- Разработана феноменологическая модель гистерезиса, названная кинематической, с использованием обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка с правой частью в виде полинома от двух переменных – параметра гистерезисного процесса, зависящего от времени, и функции этого параметра. Полиномиальные коэффициенты определяются методами приближения, минимизируя невязку аналитического



представления к множеству значений, полученных в экспериментах для объемлющего (включающего всевозможные гистерезисные траектории) цикла установившихся колебаний.

- Исследованы новые задачи о нестационарных колебаниях сложных технических систем с гистерезисом энергорассеяния в демпфирующих элементах.

**Практическая ценность значимость** состоит в разработке методов исследования нестационарных колебаний сложных механических систем с учётом гистерезиса диссипации энергии, а также в возможности использования разработанных подходов для анализа эффективности работы устройств с пассивным или активным способом рассеивания механической энергии.

**Достоверность** полученных результатов основывается на корректности математических моделей и строгости математических решений, а также на сравнении теоретических результатов с результатами экспериментальных исследований.

**Основные результаты**, полученные в диссертационной работе, опубликованы в 9 печатных работах, в том числе в 2 статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 2 статьях в журналах, цитируемых интернет-платформой Web of Science и 5 тезисах докладов.

Диссертация Шалашилина А.Д. является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны новые математические модели для описания нестационарного гистерезиса в механических системах, рассмотрены задачи о колебаниях маятникового гасителя торсионно-демпферного типа и механической системы «реовискозиметр – электрореологическая суспензия» в условиях нестационарных колебаний. Полученные результаты имеют существенное значение для динамики и прочности машин, приборов и аппаратуры. Таким образом, диссертационная работа Шалашилина А.Д. соответствует критериям, установленным Положением ВАК о порядке присуждения ученых степеней и званий.

Шалашилин А.Д. является квалифицированным специалистом в области динамики и прочности машин, приборов и аппаратуры и заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Научный руководитель:  
доктор физико-математических  
наук, заместитель директора  
ИПРИМ РАН по научной работе,  
заведующий кафедрой 910-Б  
Института № 9 «Общеинженерной  
подготовки» МАИ

 Данилин А.Н.

Подпись Данилина А.Н. заверяю.

Учёный секретарь ИПРИМ РАН  
кандидат физико-математических наук



 Карнет Ю.Н.