

УТВЕРЖДАЮ

И.о директора ИТИМ СО РАН, д. ф.-м. н.

Евгений Иванович Краус

М.П.

«19»

2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск) на диссертационную работу Левина Артёма Сергеевича «Моделирование изгибного деформирования стержневых упругих элементов с сосредоточенными массами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), в диссертационный совет 24.2.417.02, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тулский государственный университет»

1. Представленные материалы для рецензирования

Соискателем Левиным А.С. для рецензирования диссертационной работы были представлены материалы в электронном и печатном виде.

Представлен текст диссертационной работы, состоящий из: введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Общий объём работы составляет 145 страниц, содержит 54 рисунка и 7 таблиц. Список литературы содержит 116 наименований.

Представлен автореферат объёмом 16 страниц, содержащий 12 рисунков.

2. Актуальность темы диссертационного исследования

Основные задачи, рассматриваемые в работе А.С. Левина, связаны с моделированием стержневых упругих элементов в условиях их безперегибного статического и динамического изгибного деформирования.

Стержневые упругие элементы используются в различных областях техники: в различного рода машинах, строительных конструкциях, приборах и устройствах. Особое место в механике стержней занимают прямолинейные стержни, моделирование которых важно при проектировании будущего облика устройства.

Отдельно стоит отметить возможность использования стержневых упругих элементов в амортизирующих устройствах. Известно применение стержневых элементов в амортизирующих устройствах автотранспорта, авиационной техники. Подробное дальнейшее изучение стержневых упругих элементов позволит расширить область применения амортизирующих устройств со стержневыми упругими элементами.

В работе рассмотрена возможность изменения характеристик амортизирующих устройств за счёт применения сосредоточенных масс, закреплённых на стержневых упругих элементах. Данное направление исследования является актуальным, так как оперативное изменение характеристик упругих элементов позволит адаптировать амортизирующие устройства к различным величинам внешних изменяющихся воздействий.

В результате, согласно выше изложенному, можно сделать вывод об актуальности представленной диссертационной работы.

3. Основное содержание диссертационной работы

Работа структурирована, содержит все необходимые для диссертации элементы и соответствует ГОСТ Р 7.0.11 – 2011.

Во введении сформулирована цель диссертационной работы и определены задачи для её достижения. Обосновывается актуальность, описывается область исследований, степень разработанности темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методы и методология исследования, объект и предмет исследования, положения, выносимые на защиту, информация об апробации результатов работы и публикациях, личный вклад автора, структура и объём работы.

В первой главе работы подробно рассматривается состояние исследуемого вопроса в науке и практике. Описывается область применения стержневых упругих элементов, проводится обзор современной и классической научно-технической литературы по теме исследования.

Во второй главе рассматривается модель нелинейного изгиба стержней на основе уравнения Эйлера-Бернулли для четырёх основных схем нагружения. Автором для уменьшения трудоёмкости численного решения предлагается использовать метод численной минимизации, для чего были созданы два вида целевых функций, позволяющих решать уравнение изгиба. Приводятся уравнения расчёта потенциальной энергии, накапливаемой в упругом элементе в результате изгиба. Демонстрируются результаты расчётов изменения скорости во времени в квазистатической постановке задачи о торможении ударяемого тела стержневым упругим элементом.

В третьей главе предложена модель динамического изгиба стержневого упругого элемента. Приводятся выражения по расчёту изменения скорости упругого элемента во времени с учётом влияния массы элемента на процесс изгиба. Представлены различные результаты расчётов, сделанных с использованием разработанных автором программных комплексов.

В четвёртой главе рассматривается влияние контактного соударения стержневого упругого элемента и амортизируемого тела на энергобаланс системы. Представлены выражения для расчёта фронта поперечной волны во времени для стержневых элементов с переменной геометрией сечения, приведена их конечно-разностная реализация и результаты расчётов.

В пятой главе представлена модель, позволяющая производить моделирование стержневых упругих элементов с зафиксированными сосредоточенными массами. Демонстрируются результаты экспериментального исследования, подтверждающие возможность использования разработанных методик для моделирования процесса изгибного деформирования стержневых упругих элементов с сосредоточенными массами.

В заключении изложены основные выводы и результаты диссертационной работы, приведены перспективные направления дальнейших исследований.

4. Научные результаты диссертации и их новизна

Соискателем получен ряд оригинальных результатов определяющих *научную новизну* диссертации:

1) Предложена и реализована оригинальная математическая модель для случаев больших прогибов стержневых упругих элементов. Предложены целевые функции, позволяющие эффективно численно решать предложенную систему дифференциальных уравнений, включающую уравнение изгиба Эйлера-Бернулли.

2) Автором разработана математическая модель динамики стержневого упругого элемента на основе закона сохранения энергии, для численной реализации которой в работе предложен оригинальный подход с использованием линейного коэффициента зависимости скоростей в произвольных точках стержня к скорости в точке нагружения.

3) Предложена оригинальная гипотеза о зарождении фронта поперечной волны в стержне, позволяющая произвести учёт волновых явлений в законе сохранения процесса взаимодействия амортизируемого тела и стержневого элемента.

4) В результате обобщения ранее разработанных автором моделей, представлена и реализована оригинальная комплексная модель процесса динамического изгибного деформирования для стержневых элементов с сосредоточенными массами, позволяющая находить время первой остановки при амортизации упругим элементом ударяющегося тела.

5) Проведён эксперимент демонстрирующий применимость предложенных автором моделей и разработанных программных комплексов.

5. Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Научная значимость полученных результатов заключается в предложенных моделях статического и динамического изгибного деформирования стержневых упругих элементов, позволяющих использовать уравнение Эйлера-Бернулли для расчётов силовых характеристик упругих элементов переменного сечения при больших прогибах и используя их моделировать динамику процесса амортизации ударяющегося тела.

Практическая значимость состоит в реализации предложенных моделей в виде созданных и внедрённых программных комплексов, позволяющих с малой трудоёмкостью производить расчёты, связанные со статикой и динамикой процессов изгибного деформирования стержневых упругих элементов. Предложенные модели обеспечивают возможность оперативного изменения и анализа геометрических параметров стержневых упругих элементов с целью обеспечения требуемых характеристик амортизационного устройства при работе в заданных режимах эксплуатации.

6. Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием математического аппарата при создании моделей. На основе полученных результатов созданы программные комплексы для ЭВМ, которые внедрены в работу предприятия АО «СКБ».

7. Положения, выносимые на защиту

Результаты проведённых натурных экспериментальных работ, а также приведённые результаты численных экспериментов подкрепляют научные положения, выносимые автором на защиту.

8. Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Полученные в диссертационной работе Левиным А.С. результаты и созданные программные комплексы по расчёту статических и динамических характеристик стержневых упругих элементов рекомендуются к использованию на предприятиях, осуществляющих проектирование амортизирующих устройств, имеющих в составе стержневые упругие элементы (АО «СКБ», ПАО «КАМАЗ»).

9. Апробация результатов работы

Основные результаты работы неоднократно докладывались и обсуждались на конференциях с Всероссийским участием: «Техника XXI века глазами молодых учёных и специалистов» (ФГБОУ ВО ТулГУ, г. Тула); «Научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава ТулГУ с Всероссийским участием» (ФГБОУ ВО ТулГУ, г. Тула); «Проблемы развития стрелковой отрасли в Российской Федерации» (ФГБОУ ВО ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, г. Ижевск).

10. Публикации автора по теме исследования

По теме работы автором опубликовано 17 статей, в том числе 2 статьи в научных изданиях рекомендованных ВАК Минобрнауки Российской Федерации, соответствующих квантилю К2 по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), получено 4 свидетельства о регистрации программных комплексов для ЭВМ.

11. Замечания к диссертационной работе и автореферату

По содержанию диссертации и автореферата возникли следующие вопросы и замечания:

1) Полученные автором оригинальные результаты и информация о регистрации ПЭВМ, говорит о реальном существовании заявленных программных комплексов, однако в работе не приведены блок-схемы или листинги созданных программ.

2) В работе приводится сравнение результатов расчёта прогиба упругих элементов, полученных с использованием предложенной автором методики и результатов, полученных с использованием метода конечных элементов, реализованного в программе SolidWorks Simulation, представляет интерес сравнение результатов с другими реализациями метода конечных элементов. В работе не приведены параметры сетки конечных элементов.

3) В работе не приведена информация о численных методах интегрирования, используемых при численном моделировании.

4) В структуре целевых функций используется арифметическая операция модуля, что приводит к возникновению разрывов при численных расчётах, эффективнее использовать операцию возведения во вторую степень.

5) Выбор иной системы координат в системе уравнений (2.1) – (2.4) возможно позволил бы произвести расчёт для перегибного случая изгибного деформирования стержневых упругих элементов.

Недостатки, отмеченные в отзыве, не снижают практической значимости и научной ценности работы.

12. Заключение

Диссертация Левина Артёма Сергеевича на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача моделирования изгибного деформирования стержневых упругих элементов с сосредоточенными массами с точки зрения статики, динамики и контактно-волновых явлений, возникающих в элементе в процессе амортизации ударяющегося тела. Разработанные модели и созданные на их основе программные комплексы являются новыми и имеют существенное значение для отрасли машиностроения.

Автореферат соответствует и в полном объёме отражает содержание диссертации. Текст диссертации и автореферата оформлен в соответствии с утверждёнными нормами и правилами, работа выполнена на высоком научном уровне.

Содержание диссертационной работы и полученные результаты соответствуют паспорту специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор, Левин Артём Сергеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности

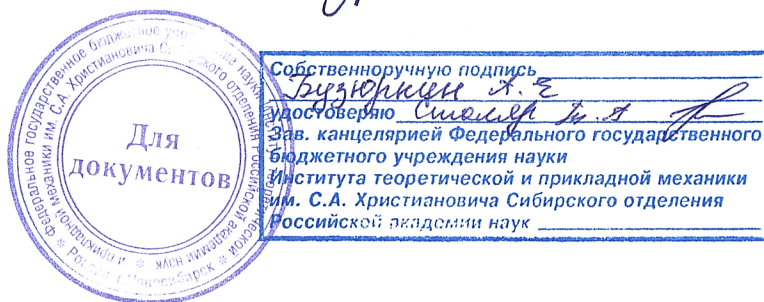
1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертация заслушана на семинаре ИТПМ СО РАН «Теоретическая и прикладная механика» 25 апреля 2025 года, в результате чего получила положительную оценку коллектива института.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании семинара лаборатории «Термомеханики и прочности новых материалов» ИТПМ СО РАН, протокол № 10 от 06.08.2025 г.

Исполняющий обязанности
заведующего лабораторией
«Термомеханики и прочности новых
материалов» ИТПМ СО РАН, кандидат
физико-математических наук
телефон: +7 383 347-77-77 (доп. 285)
e-mail: buzjura@itam.nsc.ru

Бузюркин Андрей Евгеньевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

Адрес: 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

Телефон: +7 (383) 330-42-68. Веб-сайт: <https://itam.nsc.ru/>.

E-mail: admin@itam.nsc.ru.