

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.417.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНОБРНАУКИ РОССИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 30 сентября 2025 года № 8

О присуждении **ЛЕВИНУ Артёму Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Моделирование изгибного деформирования стержневых упругих элементов с сосредоточенными массами» по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 1 июня 2025 года (протокол заседания № 7) диссертационным советом 24.2.417.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» (300012, г. Тула, пр. Ленина, д. 92); приказ о создании диссертационного совет № 422/нк от 12.08.2013 года.

Соискатель Левин Артём Сергеевич, 3 мая 1996 года рождения. В 2020 году с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет». В 2025 году окончил очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет». Работает ведущим инженером в отделе прогнозирования и обеспечения надёжности АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева», г Тула.

Диссертация выполнена на кафедре «Проектирование и производство стрелково-пушечного вооружения» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – Заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор технических наук **БАРАНОВ Виктор Леопольдович**, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», кафедра «Проектирование и производство стрелково-

пушечного вооружения», профессор.

Официальные оппоненты:

ГОРДОН Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», кафедра технической физики и математики, профессор дал положительный отзыв с замечаниями:

1. В первой главе «Состояние исследуемого вопроса» автор приводит примеры использования стержневых упругих элементов в устройствах автомобильной, измерительной и медицинской техники, можно было бы также отметить перспективу использования рассматриваемых амортизирующих элементов в строительной и горнодобывающей технике, непосредственно связанной с высокоимпульсным периодическим нагружением.

2. Все расчёты, приведённые в работе, выполнены для стали 60С2А, представляет интерес сравнение квазистатических и динамических характеристик упругих элементов, сделанных из различных материалов.

3. В выражении (5.4) автором предлагается специальная функция $f_m(x)$, было бы логично использовать известную, классическую единичную функцию, описанную в источнике [30] списка литературы.

4. В структуре результатов расчётов и предложенных методик автор в основном использует конкретные численные значения. При проведении расчётов и построении математических моделей важно, по возможности, приводить выражения к безразмерному виду.

5. В работе анализируется выбор приведённого вида целевых функций. Возможно ли уменьшение трудоёмкости решения или повышение точности решения при использовании других видов целевых функций?

6. В работе величиной w обозначена координата по длине стержня, однако в классических работах, связанных со статикой и динамикой стержня, данной буквой обозначается значение прогиба упругого элемента, для преемственности работ одной тематики рекомендуется соответствие обозначений.

7. В четвёртой главе работы не рассмотрена возможность возникновения откольного разрушения в стержне при отражении волн в точке заделки стержня.

8. В автореферате на рисунках 10, 11 и 12 трудно видимы номера позиций на графиках, а также трудноразличимы пунктирные линии, что, стоит отметить, не мешает восприятию информации в связи с подробным описанием

в тексте автореферата.

ГОРЯЙНОВ Виталий Валерьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», кафедра «Прикладная математика и механика», доцент дал положительный отзыв с замечаниями:

1. Во второй главе работы предлагается использовать метод минимизации целевой функции для уменьшения времени решения задачи расчёта квазистатических характеристик упругих элементов, однако при разработке программных комплексов автором применяются такие языки программирования как: QBasic, Matlab, Python, обладающие большим временем выполнения программ. При разработке программных комплексов было бы логично применить высокопроизводительные языки программирования, таких как: C++, Rust, Assembler, Java.

2. Современные реализации алгоритма минимизации «дифференциальная эволюция» имеют большое количество входных параметров, определяющих работу алгоритма, в работе не приведены значения данных параметров, а также сравнения результатов расчётов при использовании различных наборов параметров.

3. На странице 50 работы, автором предлагается останавливать процесс минимизации целевой функции при значении менее 10^{-6} , однако из текста работы не ясна причина выбора именно данной величины критерия останова.

4. Вместо дублирования рисунка 2.3 рисунком 2.4, можно было ограничиться ссылкой на иллюстрацию.

5. В работе приведены уравнения моментов для четырёх основных схем нагружения (2.2.1) – (2.2.4), представляет интерес универсальное уравнение момента применяемое к представленным четырём схемам, а также к их композициям и иным произвольным схемам.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, в своём положительном отзыве, подписанном и.о. заведующего лабораторией «Термомеханики и прочности новых материалов», кандидатом физико-математических наук Бузюркиным А.Е. и утверждённом и.о. директора, доктором физико-математических наук Краусом Е.И. указала, что диссертация Левина Артёма Сергеевича является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит результаты, являющимися новыми и имеющими существенное значение для отрасли машиностроения. В

работе 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. Практическая значимость работы 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. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», 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.

Отзыв содержит следующие 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.

По теме диссертации автором: опубликовано 17 статей, 2 статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и

комплексы программ (технические науки), 15 статей в различных сборниках и научно-технических журналах, общим объемом 6,3 п.л. с авторским вкладом 3,4 п.л.; получено 4 свидетельства о Государственной регистрации программ для ЭВМ и 1 патент на изобретение.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Левин А.С. Силовые характеристики упругих элементов амортизаторов стрелкового оружия для скользящей следящей схемы внешнего нагружения / В.Л. Баранов, А.С. Левин // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2018. – № 11. – С. 124 - 129.

2. Левин А.С. Моделирование квазистатического изгибного деформирования стержневых упругих элементов с сосредоточенными массами / В.Л. Баранов, А.С. Левин, С.Д. Нефедов // Южно-Сибирский научный вестник. - 2024.- № 4 (56). - С. 27 - 30.

3. Левин А.С. Влияние использования сосредоточенных масс на изменение изгибных динамических характеристик стержневых упругих элементов / В.Л. Баранов, А.С. Левин, С.Д. Нефедов // Южно-Сибирский научный вестник. - 2024. - №4 (56). - С. 23 - 27.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616355 РФ. Программа расчета характеристик упругих элементов: № 2019615021: заявл. 06.05.2019: опубл. 22.05.2019 / В.Л. Баранов, А.С. Левин, Р.А. Тер-Данилов; заявитель ФГБОУ ВО ТулГУ.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023686003 РФ. Программа расчета кинетики параметров напряженно-деформированного и кинематического состояний ударно нагруженных стержневых элементов амортизаторов с учетом возникающих в них волновых процессов: № 2023685355: заявл. 21.11.2023: опубл. 01.12.2023 / В.Л. Баранов, А.С. Левин, Р.А. Тер-Данилов; заявитель ФГБОУ ВО ТулГУ.

6. Патент RU 2846804C1 МПК F16F 15/02 (2025.05), F16F 7/00 (2025.05). Способ управления колебательными характеристиками стержневого амортизатора путем формирования корректирующего воздействия посредством сосредоточенных масс / Баранов В.Л., Левин А.С. [и др.]; заявитель и патентообладатель АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева» - № 2024131941; заявл. 22.10.2024; опубл. 16.09.2025 – 12 с.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На автореферат диссертации поступило 9 отзывов. Все отзывы положительные, в них отмечаются актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Отзывы поступили из:

1. ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный университет», г Белгород, с замечаниями:

- 1) рисунки и формулы, приведённые в автореферате должны быть крупнее для лучшей информативности;
- 2) не описано преимущество принятой модели распространения поперечной волны в стержне перед другими существующими моделями;
- 3) в работе не рассматривается случай нагружения упругого элемента в нескольких точках, что является интересным для практического использования.

2. ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, с замечаниями:

- 1) из автореферата неясно, какие допущения и гипотезы применялись в представленных моделях;
- 2) в автореферате не оговорено изменение трудоёмкости при расчёте статики и динамики стержневых упругих элементов с сосредоточенными массами, относительно элементов без сосредоточенных масс.

3. ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород, с замечаниями:

- 1) не представлены параметры остановки итеративного метода минимизации целевой функции «дифференциальной эволюции»;
- 2) явно не приведено выражение потенциальной энергии стержневого упругого элемента;
- 3) в автореферате не представлены конечно-разностная схема и начальные условия для приведённого волнового уравнения;
- 4) малый масштаб представленных иллюстраций и выражений.

4. ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, с замечаниями:

- 1) не описано преимущество выбранного метода минимизации «Differential evolution» перед другими, например, градиентными методами;
- 2) науке известны различные методы решения дифференциальных уравнений, не показаны однозначные критерии выбора именно численного метода Рунге-Кутты 4-го порядка с коэффициентами Дормана-Принса;
- 3) некоторые рисунки и формулы можно было бы увеличить для лучшего восприятия.

5. ФАУ «Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский (Московская область), с замечаниями:

- 1) текст и обозначения на рисунках трудно различимы;
- 2) не представлено сравнение точности результатов и трудоёмкости

вычислений различными методами;

3) судя по рис. 10-12 в расчетах моделируются колебания низшего тона, хотя в эксперименте представлены высокочастотные гармоники вдвое большей амплитуды. Используя явный метод интегрирования по времени (Рунге-Кутты) можно было оценить амплитуды более высоких тонов колебаний.

6. АО «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А.Г. Шипунова», г. Тула, с замечаниями:

1) в автореферате не приведён состав оборудования экспериментальных установок, что не позволяет оценить погрешность измерения в процессе проведения опытов;

2) не определён тип дифференциальной задачи. В представленной системе ОДУ 2-го порядка одновременно неизвестна ни искомая функция, ни начальные условия.

7. ООО ПФ «Логос», г. Москва, с замечаниями:

1) отсутствуют блок-схемы разработанных программ;

2) в экспериментах используются экспериментальные установки с падающим грузом, падающий груз подвижен и затрудняет оценку и измерение, вносит погрешности в полученные динамические данные. Возможно ли применение установок другого вида для повышения точности измеряемых данных?

8. ООО «Производственное Объединение ОВЕН», г. Москва, с замечаниями:

1) в тексте автореферата, в описании второй главы, не приведено сравнение результатов расчетного метода и метода конечных элементов;

2) из текста автореферата не совсем ясно какой диапазон параметров стержневых упругих элементов рассматривался в работе (сечение, длина, материал, масса и скорость нагрузки);

3) для повышения объективности и точности эксперимента целесообразно снимать дополнительные параметры состояния исследуемого объекта, например получать скорость в определенных точках при помощи анализа видеозаписи сделанной высокоскоростной камерой или закрепить на объекте дополнительные инерциальные датчики.

9. Научно-технический центр ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны, с замечаниями:

1) не приведены данные по трудоёмкости расчётов, выполняемых по разработанным автором и в существующих программных продуктах;

2) не рассмотрен случай моделирования для произвольного закона внешней нагрузки, задача в данной постановке является актуальной для науки

и техники;

3) не рассмотрены диссипативные явления в ударных процессах и трении при амортизации стержневыми элементами ударяющегося тела;

4) не достаточная практическая значимость ввиду отсутствия описания прикладного применения предложенной математической модели в автомобилестроении. Кроме того, для конструктора систем поддрессоривания важны такие свойства, как собственная частота подвески, декремент затухания, прогиб и т.д., о которых нет упоминания;

5) отсутствует описание и оценка амортизации при стационарном нагружении и последующих возможных автоколебаниях;

6) как правило, в научных публикациях каждое уравнение пишется на одной строке, а не по два уравнения в строке;

7) отсутствует сравнение результатов моделирования с помощью коммерческих программных продуктов с предложенной моделью, показывающее преимущество использования предложенной математической модели и указывающее на недостатки коммерческих программных продуктов SolidWorks Simulation, ANSYS, Логос, Abaqus.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в рассматриваемой отрасли науки, наличием значительного количества публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Согласия на оппонирование диссертации от оппонентов и ведущей организации имеются.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны математические модели квазистатического и динамического изгибного деформирования стержневых упругих элементов с фиксированными сосредоточенными массами;

созданы программные комплексы, реализующие предложенные методики расчёта и позволяющие проводить вычислительные эксперименты по изгибу стержневых упругих элементов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

решена задача моделирования квазистатического нагружения стержневых упругих элементов переменного сечения с фиксированными сосредоточенными массами для различных видов схем нагружения с применением уравнения Эйлера-Бернулли и методов минимизации, что позволяет развить теорию в области изгибного деформирования стержневых упругих элементов;

изложена методика моделирования комплексного (квазистатического, динамического, контактно-волнового) изгибного деформирования стержневых упругих элементов с фиксированными сосредоточенными массами;

выявлены дополнительные перспективные направления дальнейших исследований по совершенствованию результатов работы.

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

результаты работы доведены до уровня их практического использования в исследовательской и инженерной практике, и внедрены в работу предприятия АО «СКБ» (г. Пермь) и в учебный процесс ФГБОУ ВО ТулГУ;

созданы и зарегистрированы, новые программные продукты, позволяющие проводить расчёты характеристик стержневых упругих элементов с фиксированными сосредоточенными массами.

Достоверность результатов исследования обеспечивается:

соответствием результатов экспериментальной работы и результатов расчётов по предложенным моделям;

положительным результатом сравнения решений, полученных с использованием новых методик, представленных в данной работе и методик других авторов;

положительными решениями Федеральной службы по интеллектуальной собственности Российской Федерации о Государственной регистрации программ для ЭВМ, разработанных автором;

корректным применением апробированных классических и современных методов исследования теории упругости, механики, волновой динамики, современных машинно-ориентированных численных методов в составе разработанных моделей.

Личный вклад соискателя заключается в том, что им разработаны проблемно-ориентированные программные комплексы по расчёту квазистатических и динамических характеристик стержневых упругих элементов с фиксированными сосредоточенными массами; представленные в диссертации модели процессов динамического изгибного деформирования стержневых упругих элементов амортизаторов с фиксированными сосредоточенными массами и связанные с ними исследования, включая численные расчеты и их анализ, выполнены соискателем лично; соискатель осуществлял организацию проведения комплекса экспериментальных работ и принимал непосредственное участие в их проведении, а также в анализе и использовании их результатов.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания. Соискатель Левин Артём Сергеевич ответил на задаваемые ему вопросы и привёл собственную аргументацию.

На заседании 30 сентября 2025 года диссертационный совет принял решение: за решение актуальной задачи состоящей в разработке новой математической модели, позволяющей создать инженерно-ориентированный комплекс программ для проведения вычислительных экспериментов по комплексному динамическому изгибному деформированию стержневых упругих элементов с фиксированными сосредоточенными массами, имеющей важное значение для развития отраслей машиностроения и приборостроения, что соответствует критериям п.п. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, присудить ЛЕВИНУ Артёму Сергеевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовал: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

**Председатель
диссертационного совета**

**Ученый секретарь
диссертационного совета**



**Глаголев
Вадим Вадимович**

**Соколова
Марина Юрьевна**

30 сентября 2025 года