



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.07,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «27» мая 2026 г. № 33

О присуждении Азарову Артуру Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование упруго-акустических эффектов при ударном возбуждении стержня» по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, принята к защите «18» февраля 2026 г., протокол № 32, диссертационным советом 24.2.327.07, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета 24.2.327.07 – № 1184/нк от «12» октября 2022 г, о внесении изменений № 114/нк от 19.02.2026.

Соискатель Азаров Артур Александрович, 6 мая 1995 года рождения. В 2017 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» по специальности 08.04.01 «Строительство».

Диплом об окончании бакалавриата №107824 2618223, дата выдачи 30.06.2017.

В 2019 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» по специальности 08.04.01 «Строительство». Диплом об окончании магистратуры №107824 3819511, дата выдачи 19.06.2019.

В 2024 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» по специальности 01.06.01 «Математика и механика». Диплом об окончании аспирантуры №107824 3819511, дата выдачи 09.07.2024.

С 10.03.2025 прикреплен для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук к федеральному государственному бюджетному образовательному учреждению высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» по специальности 01.06.01 «Математика и механика».

Справка об обучении с результатами сдачи кандидатских экзаменов №69/24 и №70/24 по специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела» выдана в 2024 году в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

В настоящее время работает в ООО «Олимп» в должности ведущего инженера-конструктора.

Диссертация «Исследование упруго-акустических эффектов при ударном возбуждении стержня» выполнена на кафедре «Сопротивление материалов» федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Научный руководитель в период обучения в аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»: доктор физико-математических наук, профессор Попов Александр Леонидович, профессор кафедры «Сопротивление материалов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук.

В связи со смертью Попова А.Л. в период прикрепления к федеральному государственному бюджетному образовательному учреждению высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» научным руководителем был назначен кандидат физико-математических наук Ченцов Александр Викторович, доцент кафедры «Сопротивление материалов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Павлов Игорь Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент, заместитель директора по научной работе Института проблем машиностроения Российской академии наук — филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им.

А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», с 1 апреля 2026 года – заместитель заведующего отделом «Центр машиноведения» ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Зайцев Алексей Вячеславович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Механика композиционных материалов и конструкций» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук в своем положительном отзыве, подписанном директором ИМех УФИЦ РАН, доктором физико-математических наук, доцентом, профессором Академии наук Республики Башкортостан **Галимзяновым Маратом Назиповичем**, утвержденным руководителем, доктором биологических наук, доцентом **Мартыненко Василием Борисовичем** указала, что диссертационная работа Азарова Артура Александровича выполнена на высоком научном уровне и является законченной научно квалификационной работой, которая содержит результаты, имеющие значение для механики деформируемого твердого тела. Отмеченные замечания не снижают теоретической и практической значимости полученных соискателем результатов и не носят принципиального характера. Автореферат в полном объеме отражает содержание диссертации. Диссертация соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Азаров Артур Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Основные положения диссертационного исследования достаточно полно отражены в 10 научных работах, из них: 2 научные работы в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации и 2 работы в журналах, индексируемых в Web of Science, Scopus, остальные 6 – в прочих изданиях. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Азаров А.А., Попов А.Л., Челюбеев Д.А. О некоторых особенностях спектра продольных колебаний и звукоизлучения стержня // Вестник ТГУ. Математика и механика. – 2024. – № 88. – С. 53 – 65.

2. Азаров А.А., Попов А.Л. Экспериментальная верификация частотного метода оценки осевой нагрузки и несовершенства граничных условий в арматурных стержнях // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2024. – № 3. – С. 108 – 117.

В основных работах автора содержатся решения задач акустоупругости, актуальных в научном и прикладном направлениях. В работе [1] автором получено теоретическое и экспериментальное объяснение эффекта сдвига амплитудного максимума спектра акустического давления торца стержня по частоте при послеударных продольных колебаниях. В работе [2] автором предложены расчётные модели и методики, направленные на совершенствование частотного метода диагностики растягивающих усилий и узловых жесткостей.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные,

от **Чернявского Дмитрия Ивановича**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Машиноведение» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет», отзыв положительный;

от **Хазова Павла Алексеевича**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Теория сооружений и техническая механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», советника РААСН, отзыв положительный;

от **Корзниковой Елены Александровны**, доктора физико-математических наук, доцента, заведующей лабораторией НИЛ «Металлы и сплавы при экстремальных воздействиях» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», отзыв положительный;

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам; отмечены: новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая значимость.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве ведущей организации **Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук** имеются следующие вопросы и замечания:

1. Для описания свободных послеударных продольных колебаний стержня можно было рассмотреть менее распространенную модель, учитывающую поперечное смещение (поправка Релея), или более совершенную модель Бишопа, учитывающую как поперечное смещение, так и деформацию сдвига.

2. Блок схема алгоритма поиска на рисунке 3.3 не содержит обратную связь в цикле возврата к принятию новых значений, хотя в тексте указано, что алгоритм итерационный. Видимо, оптимизационный блок, подразумевает данную операцию.

3. В разделе 3.1 приведены несколько частотных уравнений для изгибных колебаний стержня с различными краевыми условиями, но не приведены сами спектры частот.

4. При разработке алгоритма поиска параметров (п. 3.2) автор использует комбинацию глобального (basin-hopping) и локального (Нелдера-Мида) методов. Желательно было бы привести более детальное обоснование выбора и применимости именно этих методов, а также оценить их чувствительность к выбору начального приближения и зашумленности исходных частотных данных.

5. В четвертой главе при анализе колебаний эллиптической пластины используется приближенное аналитическое решение, дающее оценку сверху. Следовало бы провести сравнение этих результатов с более точным численным расчетом (например, МКЭ) для оценки погрешности метода.

6. На рисунке 3.4 (стр. 60) не все стрелки имеют обозначения.

7. В уравнении 1.3.1 площадь поперечного сечения обозначена буквой A , хотя далее по тексту везде обозначена буквой F .

Замечания в отзыве официального оппонента Павлова И. С.

1. В качестве модели соударения целесообразно было использовать упомянутую автором диссертации модель Сирса, объединяющую два теоретических подхода к описанию ударных процессов: волновую теорию Сен-Венана и теорию контактного взаимодействия Герца. В отличие от формулы (2.2.6), в модели Сирса присутствует не только затухающая, но и возрастающая часть ударного импульса.

2. Термин «стержень по модели Сен-Венана» (стр. 28) применительно к уравнению (1.2.1) употреблен некорректно. Теория Сен-Венана относится к продольному удару плоским ударником по стержню, но модель стержня, совершающего продольные колебания, принадлежит Д. Бернулли и называется стержнем по модели Бернулли.

3. При описании совершенствования методик контроля проектного состояния усилий в преднапряжённых конструкциях не показано преимущество рассматриваемой модели с реальными граничными условиями по сравнению с использованием модели струны или свободно опертого стержня Эйлера-Бернулли [99], где для корректных результатов требуется значительная свободная длина каната.

4. Пункт 1.3 диссертации, в котором приводятся послеударные модели поперечных колебаний стержней, оканчивается формулой, - здесь явно не хватает сравнительного анализа рассмотренных в данном разделе моделей.

5. На стр. 32 диссертации сказано: "...различия между рассмотренными моделями нивелируются при уменьшении коэффициента Пуассона..." Из этой фразы непонятно, какое уменьшение имел ввиду автор диссертации - до 0 или до -1.

6. Формула (1.1.4) определяет контактную силу для двух шаров как $P = k\alpha^{3/2}$, где k , судя по соответствующей формуле тоже под номером (1.1.4), имеет размерность "корня квадратного из метров", а про α сказано, что это местное смятие, про размерность которого остается лишь догадываться. При этом вовсе неочевидно, что сила P измеряется в ньютонах. Надо было дополнительно оговорить размерности соответствующих величин.

Замечания в отзыве официального оппонента Зайцева А. В.

1. Список литературы оформлен не по алфавиту, а по мере поступления ссылки на цитируемую работу. Публикации на русском и английском языках идут попеременно. Это представляет определенное неудобство. Когда необходимо выяснить информацию о наличии научной работы того или иного автора, приходится просматривать весь список. Каждая глава должна содержать вначале перечень публикаций соискателя, в соответствии с которыми изложен материал этой главы. Отсутствуют четко выводы по первой, второй, третьей и четвертой главам.

2. На С. 41 рукописи диссертационной работы при определении амплитуд спектра перемещений было получено выражение контактной силы (2.2.6), учитывающее только волновое распространение. Для наглядности можно было привести графические зависимости с отсутствием восходящей части и наличием только затухающей части контактного импульса. На С. 44 представлено выражение (2.3.1.6) для амплитуды спектра перемещений $A(\omega)$. Для иллюстрации снижения $A(\omega)$ выходного конца послеударных продольных колебаний стержня с ростом порядкового номера частоты было бы логично продемонстрировать отсутствие осцилляций на данном спектре и провести анализ сходимости для более высоких частот.

3. На С. 58 представлена блок-схема алгоритма оценки коэффициентов угловой жесткости заделки и продольной силы по экспериментальному набору собственных частот (рис. 3.3). Для наглядности стоило бы построить более подробную схему с циклом возврата к принятию новых значений для переменных. В приложении А на С. 111 представлен листинг программной реализации на языке Python. Эта реализация достаточно громоздка, содержит излишнюю избыточность импорта: импортируются все функции из библиотеки SymPy (первая строка кода), затем вновь импортируются некоторые элементы. Программно оптимальнее было бы лучше использовать один стиль импорта.

4. При описании разработанного метода контроля усилий в преднапряженных конструкциях не конкретизировано его очевидные преимущества по сравнению с другими известными методиками (например, авторов [99]), применяемыми для определения усилий в канатах сооружений пролетного строения, где удовлетворительные результаты получаются при значительной (более 10 м) длине вскрытия бетонной одежды.

В отзывах на автореферат имеются такие замечания:

1. В тексте автореферата только одна формула имеет нумерацию, что существенно затрудняет его рецензирование. Сложно сослаться на формулу,

которая не имеет номера. При этом на странице автореферата может быть несколько формул. Как можно задать вопрос по конкретной формуле?

2. Из текста автореферата не ясно каким образом в методике расчетов учитывались волновые явления в стержне. При ударе короткого тела по более длинному, процесс удара заканчивается тогда, когда ударная волна сжатия и растяжения пройдет по короткому телу вперед и назад. После этого контакт тел прекратится и удар закончится. Массой M необходимо считать не массу всего стержня, а массу той части стержня, которая была охвачена волной сжатия на протяжении всего времени удара.

3. В ходе удара в стержне формируются не только продольные волны, но и поверхностные волны Рэлея, которые имеют существенно меньшую скорость распространения в сравнении с продольными волнами. Данные волны также формируют акустический сигнал, который должен зафиксировать микрофон. Как данный процесс учитывался в ходе проведения экспериментов?

4. В качестве незначительного замечания можно отметить, что на первой фотографии оптико-акустического стенда (рис. 10) в качестве тестового образца представлена только круглая пластина. Для большей наглядности следовало бы расширить подписи к основным иллюстрациям.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высококвалифицированными специалистами в данной области, а ведущая организация проводит значительные исследования в области механики деформируемого твердого тела, в том числе посвященные обнаружению дефектов. Официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют значительное количество публикаций, связанных с направлением исследований диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны методика и стенд для экспериментального изучения спектров акустического давления послеударных продольных колебаний стержня и особенностей их распределения при различном соотношении масс соударяющейся пары и параметров, определяющих период осцилляции (радиус излучающей поверхности, расстояние до приемника);

предложена усовершенствованная методика частотной оценки, и созданная на её основе программа позволяет существенно повысить точность и снизить трудоемкость диагностики продольных растягивающих усилий и качества соединений в стержневых элементах непосредственно в условиях эксплуатации;

доказана необходимость учета изменения начального модуля упругости в процессе деформирования при частотной диагностике в стержневых элементах;

Новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана правомерность и обоснованность разработанных математических моделей для исследования упруго-акустических эффектов, возникающих при ударном возбуждении стержневых элементов, и усовершенствованного метода акустического контроля;

применительно к проблематике диссертации эффективно **использован** комплекс методов, в том числе методы механики деформируемого твердого тела, математической физики и численные методы;

изложены и теоретически обоснованы методы исследования звукоизлучения послеударных продольных колебаний стержня и совершенствования акустических методов контроля;

раскрыты закономерности распределения спектров акустического давления послеударных продольных колебаний стержня при различном

соотношении масс соударяющейся пары и различных параметрах, определяющих период осцилляции;

изучена особенность разнонаправленного изменения собственных частот изгибных колебаний при растяжении стержня в области слабо нелинейной зависимости напряжения от деформации, показана необходимость учета изменения начального модуля упругости в процессе деформирования при частотной диагностике в стержневых элементах;

проведена модернизация расчётно-экспериментального подхода к оценке продольного усилия и дефектов закрепления элементов конструкций и анализу степени их устранения.

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

разработаны и внедрены предложенные расчетные модели и методика, направленная на совершенствование частотного метода оценки проектных усилий и качества соединений стержневых элементов, позволяющая получать достоверные результаты в широком диапазоне отношения длины к габаритам поперечного сечения при анализе спектров, зашумленных паразитными частотами окружающего шума строительных работ;

определено минимальное количество регистрируемых собственных частот колебаний, необходимое для динамической оценки продольного усилия с приемлемой погрешностью;

созданы и протестированы стенд для экспериментального изучения особенностей распределения спектра послеударных продольных колебаний стержня и стенд для синхронного съема спекл-интерферометрической и виброакустической информации с вибрирующих объектов;

представлено практически возможное сокращение длины высвобождаемой части бетонной одежды преднапряжённой арматуры мостов и других строительных конструкций.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных уравнениях механики деформируемого твердого тела. Использованные методы решения задач математически строгие и непротиворечивы;

идея базируется на известных и обоснованных методах механики деформируемого твердого тела;

использованы классические методы механики деформируемого твердого тела и численные методы;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, полученными на основе экспериментальных данных;

использованы методы локальной и глобальной оптимизации.

Личный вклад соискателя состоит в построении аналитических решений для определения спектра перемещений и акустического давления послеударных продольных колебаний конца стержня, реализации метода динамической оценки усилий и узловых жесткостей соединений стержневых элементов, разработке и применению алгоритма определения усилий и узловых жесткостей с использованием локально-стохастического метода по разности теоретических и экспериментальных частот, анализе и обработке экспериментальных данных, экспериментальной верификации на модельных образцах, участии в создании оптико-акустического стенда и методики синхронного съёма виброакустической и спекл-интерферометрической информации для диагностики дефектов закрепления тонкостенных элементов конструкций и степени их устранения, анализе и обобщении полученных результатов.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний. Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением

