

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию АЗАРОВА АРТУРА АЛЕКСАНДРОВИЧА

«Исследование упруго-акустических эффектов при ударном возбуждении стержня», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

1.1.8. — «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность темы диссертации.

Обнаружение дефектов и определение состояния элементов конструкции, в том числе тонкостенных, имеет большое значение в различных областях, в частности, в машиностроении и строительной отрасли. **Актуальность** диссертации состоит в разработке более совершенных методов диагностики усилий и качества соединений в стержневых элементах металлических конструкций по излучаемому акустическому полю послеударных колебаний в более широком диапазоне отношения длины к габаритам поперечного сечения, а также в исследовании встречающихся эффектов при колебаниях и звукоизлучении упругих тел.

Структура и оформление диссертации.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 113 наименований и 2 приложений. Текст диссертации составляет 113 страниц, включая 37 рисунков и 5 таблиц. По структуре и оформлению диссертация и автореферат диссертации полностью соответствуют установленным требованиям.

Во введении дана общая характеристика работы, сформулированы ее цели, задачи и методы их решения, обоснована актуальность темы диссертации, с достаточной степенью подробности изложены история исследований по заявленной теме, новизна полученных и выносимых на защиту результатов, их теоретическая и практическая значимость.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«6» 04 2026 г.

В первой главе приводятся теоретические модели возбуждаемых ударом колебаний стержней при отдельном и совместном учете волнового движения и местной деформации в соударяющихся телах. Показана иерархия моделей, описывающих продольные и поперечные колебания стержней.

Во второй главе рассмотрены колебания и звукоизлучение упругими телами после ударных воздействий. Разработаны методика и стенд для экспериментального изучения спектра акустического давления послеударных продольных колебаний стержня. Выполнено согласование теоретических моделей удара и послеударных продольных колебаний стержня с экспериментальными данными. Продемонстрирован эффект сдвига амплитудного максимума спектра акустического давления с частоты основного тона на более высокую частоту.

В третьей главе проведены исследования в области диагностики усилий и дефектов. Разработан алгоритм спектрального определения коэффициентов жесткости и силовых факторов локально-стохастическим методом. Также показана зависимость критической частоты балки Тимошенко от внутреннего силового фактора – растягивающей силы. Отмечена особенность разнонаправленного изменения собственных частот изгибных колебаний при растяжении стержня в области слабо нелинейной зависимости напряжения от деформации. Проведен теоретический и экспериментальный анализ спектров частот балки Тимошенко в окрестности критической частоты.

Четвертая глава посвящена разработке методики и стенда для синхронного съема спекл-интерферометрической и виброакустической информации с вибрирующих объектов (тестовых пластин). Проведено тестирование методики синхронного съема виброакустической и спекл-интерферометрической информации для диагностики дефектов и степени их залечивания в закреплениях границ тестовых пластин в форме эллипса и кардиоиды.

В Заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Достоверность научных положений и выводов в диссертации обеспечивается корректностью принимаемых постановок рассматриваемых задач и использовании при их решении математических методов. Проведена верификация полученных результатов с экспериментальными данными.

Оценка новизны, научной и практической значимости проведенных исследований. В работе получены следующие новые результаты:

Разработаны алгоритм и методика спектрального определения коэффициентов жесткости и силовых факторов локально-стохастическим методом. Показана зависимость критической частоты балки Тимошенко от внутреннего силового фактора – растягивающей силы. Продемонстрирована особенность разнонаправленного изменения собственных частот изгибных колебаний при растяжении стержня в области слабо нелинейной зависимости напряжения от деформации. При изменении начального значения модуля упругости на 3% при статическом растяжении для рассматриваемого тестового образца 3-я собственная частота поперечных колебаний оказывается ниже 1-ой собственной частоты при начальном модуле упругости в отсутствии статического растяжения. Данное обстоятельство обычно не учитывается при расчёте собственных частот поперечных колебаний стержня со значительной растягивающей продольной нагрузкой. Проведен теоретический и экспериментальный анализ спектров частот балки Тимошенко в окрестности критической частоты. При рассмотрении поперечных колебаний используемая методика по определению физических величин на примере скорости звука приводит к согласованию теоретических и экспериментальных наборов частот.

Разработаны методика и стенд для экспериментального изучения спектра акустического давления послеударных продольных колебаний стержня. В экспериментальной части обнаружены некоторые особенности

распределения спектра звукоизлучения стержня. Продемонстрирован эффект сдвига амплитудного максимума спектра акустического давления с частоты основного тона на более высокую частоту. Показано, что величина этого сдвига может зависеть от параметров, определяющих период осцилляции и от отношения масс соударяющейся пары.

Разработаны методика и стенд для синхронного съёма спекл-интерферометрической и виброакустической информации с вибрирующих объектов (тестовых пластин). Проведенное тестирование показало преимущества объединения виброакустической и спекл-интерферометрической диагностики дефектов на примере диагностики дефектов в закреплении границы тестовой пластины. Важный признак такого дефекта - снижение резонансной частоты колебаний - является лишь интегральным признаком, по которому невозможно определить конкретное место расположения дефекта на контуре заделки. В то же время по конфигурации полос спекл-интерферограммы, полученной на сниженной резонансной частоте колебаний пластины, однозначно определяется место расположения дефекта заделки контура пластины.

Публикации и апробация результатов исследования, отражающие основное содержание работы. Диссертационная работа Азарова А.А. в достаточной мере опубликована и апробирована. Основные положения работ изложены в 10 работах, в том числе 4 статьи напечатаны в журналах, входящих в перечень ВАК РФ и/или индексируемых в Web of Science, Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и акт внедрения. Основные результаты работы также докладывались и обсуждались на всероссийских и международных профильных научных конференциях и семинарах.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы. Результаты диссертационной работы Азарова А.А. могут быть использованы при диагностике проектных усилий и качества узловых

соединений стержневых элементов конструкций в широком диапазоне отношения длины к габаритам поперечного сечения, что также заключается в возможности существенного сокращения длины высвобождаемой части бетонной одежды преднапряжённой арматуры мостов и других строительных конструкций при проверке сохранения в них проектных значений продольных усилий без уменьшения точности получаемых результатов.

Замечания по содержанию работы.

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 можно лишь догадываться. При этом вовсе неочевидно, что сила P измеряется в ньютонах. Надо было дополнительно оговорить размерности соответствующих величин.

Заключение

Диссертационная работа Азарова Артура Александровича является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит результаты, имеющие важное значение для развития механики в области статики, динамики и оценки жесткостных свойств деформируемых твердых тел. Тема и содержание исследования соответствуют паспорту специальности 1.1.8. – Механика деформируемого твердого тела по пунктам 1, 8, 13 (технические науки). Отмеченные замечания не снижают теоретической и практической значимости полученных соискателем результатов и не носят принципиального характера.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней ВАК РФ, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (с изменениями и дополнениями). Автореферат в полном объеме отражает содержание диссертации.

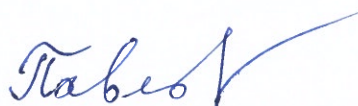
Автор диссертации, Азаров Артур Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. — «Механика деформируемого твердого тела».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ:

Доктор физико-математических наук, доцент, заместитель директора по научной работе Института проблем машиностроения РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»

Специальность ВАК: 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Павлов Игорь Сергеевич



25.03.2026

603024, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, д.85

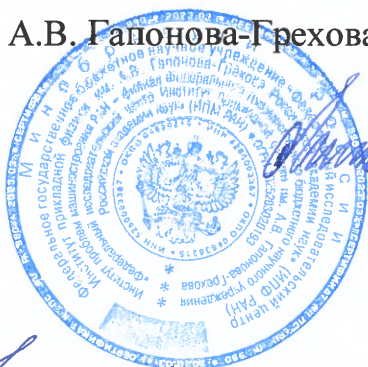
Телефон: +7(903)603-20-29

E-mail: ispavlov@mail.ru

Подпись Павлова Игоря Сергеевича заверяю.

Ученый секретарь Института проблем машиностроения РАН - филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»

К.Т.Н.



Мотова Е.А.

С оиртблнн оиртблнн
ов. 04. 2026

