

УТВЕРЖДАЮ

**Проректор по научной работе
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Белгородский государственный
технологический университет им.**

**В.Г. Шухова», доктор педагогических
наук, профессор**



Давыденко Т.М.

14.09.2026 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Шкоды Ирины Васильевны

«Методики экспериментальных исследований собственных и вынужденных колебаний в стержневых трубобетонных конструкциях» представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. «Теоретическая механика, динамика машин».

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

В современном машиностроении и строительстве наблюдается устойчивый тренд к повышению энергоэффективности, надежности и долговечности конструкций, работающих в условиях интенсивных динамических нагрузок. К таким объектам относятся подъемно-транспортные машины, мостовые сооружения, каркасы промышленных зданий, испытывающие вибрации от движущихся грузов, ветровые и сейсмические воздействия. Традиционные материалы (сталь, железобетон) либо обладают недостаточным демпфированием (сталь), либо имеют высокую массу и склонность к хрупкому разрушению (бетон). Труبوبетон как композитный материал, сочетающий стальную оболочку и бетонное ядро, демонстрирует

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

14.09.26

высокий потенциал в части рассеивания энергии колебаний. Однако существующие нормативные документы и расчетные методики не содержат инженерных подходов к оценке его динамических характеристик, особенно с учетом предварительного напряженного состояния. Это сдерживает внедрение трубобетона в практику проектирования динамически нагруженных систем.

В связи с этим разработана экспериментальная методика определения демпфирующих свойств и частотных характеристик трубобетонных стержней, а также алгоритмов моделирования их напряженно-деформированного состояния (НДС) является **актуальной научно-технической задачей**, имеющей важное значение для развития методов динамики машин и конструкций.

АНАЛИЗ НАУЧНОЙ НОВИЗНЫ

В ходе выполнения диссертационного исследования автором получены следующие новые научные результаты:

1. **Разработана экспериментальная методика** определения динамических характеристик предварительно напряженных трубобетонных стержней при свободных и вынужденных колебаниях. В отличие от известных подходов, методика позволяет количественно оценить влияние уровня сжимающих напряжений на амплитудно-частотные характеристики и демпфирующие свойства композита в различных частотных диапазонах. На основе экспериментальных данных установлена полиномиальная зависимость (третьей степени) приведенного коэффициента упругости от величины осевой нагрузки, описывающая изменение эффективной жесткости системы при различных уровнях предварительного напряжения.

2. **Предложена экспериментальная методика сравнительного анализа** динамического поведения стальных и трубобетонных каркасов на масштабных моделях с соблюдением законов подобия. Экспериментально подтверждено, что заполнение стальных стержней бетонным сердечником приводит к снижению собственной частоты колебаний конструкции и

увеличению декремента колебаний, что свидетельствует о повышении демпфирующей способности материала. Показана эффективность применения трубобетона в конструкциях для эксплуатации подъемно-транспортных машин.

3. **Разработан алгоритм поиска рациональных вариантов** фланцевых соединений стальных трубчатых элементов на основе вычислительных экспериментов. Для круглых и прямоугольных профилей определены конструктивные решения, обеспечивающие снижение материалоемкости при сохранении несущей способности по сравнению с традиционными типами соединений.

4. **Создана методика назначения деформационно-прочностных характеристик** (продольной и изгибной жесткостей) для моделирования трубобетонных конструкций стержневыми конечными элементами. Особенность методики заключается в прямом экспериментальном определении жесткостей на основе испытаний образцов на осевое сжатие и изгиб, что позволяет повысить достоверность исходных данных для расчета в программно-вычислительных комплексах при оценке напряженно-деформированного состояния композитных элементов.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Теоретическая ценность работы состоит в развитии экспериментально-теоретических методов исследования динамики механических систем применительно к композитным стержневым элементам. Установленные в диссертации закономерности влияния осевого сжатия на частотные и демпфирующие характеристики трубобетона расширяют существующие представления о динамике систем с распределенными параметрами. Предложенный подход к совместному использованию стержневых конечно-элементных моделей и экспериментально верифицированных жесткостных характеристик создает методологическую основу для цифрового сопровождения жизненного цикла конструкций из композиционных материалов. Выявленные количественные соотношения между мощностью

возмущающего воздействия, уровнем предварительного напряжения и откликом системы вносят вклад в теорию вынужденных колебаний неоднородных стержней.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Практическая ценность работы подтверждается внедрением полученных результатов:

1. Разработанные методики и алгоритмы использованы в проекте «Техноплатформа 2035» (ФГБОУ ВО ННГАСУ) при создании систем мониторинга строительных конструкций, что позволяет на стадии эксплуатации оценивать изменение динамических характеристик объекта.

2. Методика определения приведенного коэффициента упругости с помощью блока акселерометров внедрена в научно-исследовательский процесс АО «АПП «ТЕМП-АВИА» в рамках разработки системы мониторинга технического состояния зданий и сооружений.

3. Созданное программное обеспечение (свидетельства о регистрации № 2024682661, № 2024689601) может быть использовано проектными организациями для расчета разрушающей нагрузки центрально-сжатых трубобетонных стержней и автоматизированного определения динамических параметров материала по показаниям акселерометров, что сокращает трудоемкость обработки экспериментальных данных.

4. Предложенные рациональные типы фланцевых узлов позволяют проектировать экономичные и надежные соединения стальных и трубобетонных элементов, что востребовано при создании каркасов промышленных зданий и эстакад.

ДОСТОВЕРНОСТЬ И ОБОСНОВАННОСТЬ.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Высокий уровень достоверности результатов, представленных в работе, обеспечивается корректным применением апробированного математического аппарата (теория колебаний, механика деформируемого твёрдого тела, теория

подобия), использованием сертифицированных программных комплексов (IDEA StatiCa, SCAD), а также согласованностью результатов натурных экспериментов, численного моделирования и аналитических расчётов.

Верификация разработанных моделей проводилась путём сопоставления с данными испытаний масштабных образцов и результатами, опубликованными другими авторами. Экспериментальные исследования выполнены на современном оборудовании с применением трёхосных акселерометров и тензометрической аппаратуры. Статистическая обработка данных (усреднение по сериям из нескольких замеров, оценка разброса) подтверждает воспроизводимость результатов.

В диссертации применены методы математического и компьютерного моделирования, экспериментальной механики, теории колебаний и волн, теоретической механики.

СТРУКТУРА И СОСТАВ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка, содержащего 284 источника, и приложений. Общий объём составляет 162 страницы. Диссертация включает 15 таблиц и 77 рисунков.

Во **введении** обоснована актуальность исследования, показаны научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость. Автор ставит ряд задач, которые в дальнейшем решаются в основном тексте диссертации. На основании поставленных задач сформулированы положения, выносимые на защиту. Также во введении приводится информация о финансировании, внедрении результатов диссертационной работы, апробации на конференциях, информация о публикациях по теме исследования.

Первая глава содержит развернутый обзор современного состояния исследований по динамике подъемно-транспортных машин, путевых конструкций, а также методов изучения сталебетонных и трубобетонных конструкций при статических и динамических нагрузках. Автор выявлены основные пробелы: отсутствие стандартизированных методик динамических

испытаний трубобетона, недостаточная изученность влияния предварительного напряжения на его демпфирующие свойства, а также противоречия в существующих аналитических зависимостях между сжимающей силой и частотой собственных колебаний. Выводы по главе корректно формулируют направления дальнейших исследований.

Вторая глава посвящена разработке экспериментальных методик для исследования свободных и вынужденных колебаний предварительно напряженных трубобетонных стержней. Приведены теоретические основы колебательных процессов, описана экспериментальная установка (с рычажной системой загрузки, ударным устройством и электродвигателем с эксцентриком для создания гармонического воздействия), представлены результаты обработки осциллограмм. Получены зависимости частоты колебаний и приведенного коэффициента упругости от величины осевой нагрузки, установлено, что коэффициент неупругой работы трубобетона значительно превышает аналогичные показатели для стали и железобетона. Показано, что увеличение осевой нагрузки приводит к нелинейному росту собственной частоты и коэффициента затухания.

Третья глава посвящена сравнительному анализу динамических характеристик полых стальных и трубобетонных каркасов на масштабных моделях с соблюдением законов подобия. Описана методика изготовления моделей, включая применение специального растворного сердечника. Экспериментально доказано, что внедрение бетонного сердечника в стальные стержневые элементы снижает собственную частоту колебаний конструкции и увеличивает декремент колебаний, особенно при определенных направлениях динамического воздействия и уровнях нагрузки. Показано, что максимальный демпфирующий эффект достигается при оптимальном сочетании жесткости системы и величины приложенной нагрузки. Подтверждена эффективность применения трубобетона в конструкциях для эксплуатации подъемно-транспортных машин.

Четвертая глава включает два основных блока. В первом блоке представлены результаты численного моделирования фланцевых соединений стальных трубчатых элементов круглого и прямоугольного сечений. Проведен анализ нескольких типов узлов (прорезные и непрорезные, с ребрами жесткости и без них) при варьировании толщины фланца. Установлено, что наиболее рациональными с точки зрения сочетания несущей способности и материалоемкости являются прорезные узлы с ребрами жесткости. Во втором блоке описана экспериментальная методика назначения деформационно-прочностных характеристик (продольной и изгибной жесткостей) для моделирования трубобетонных конструкций стержневыми конечными элементами. Представлены результаты испытаний образцов на осевое сжатие и изгиб, показано, что использование экспериментально полученных жесткостей в программно-вычислительных комплексах позволяет корректно оценить напряженно-деформированное состояние и выявить наиболее нагруженные элементы композитной колонны. Продемонстрирован положительный эффект совместной работы стальной оболочки и бетонного ядра, проявляющийся в пластичном характере разрушения трубобетона в отличие от хрупкого разрушения железобетона.

По каждой главе приведены локальные **выводы**, полученные на основании результатов исследований.

В **заключении** сформулированы основные выводы, полностью соответствующие цели и задачам исследования, а также приведены сведения о внедрении результатов и государственной регистрации программ для ЭВМ.

СООТВЕТСТВИЕ ПАСПОРТУ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Исследование **соответствует** паспорту научной специальности 1.1.7. «Теоретическая механика, динамика машин» по пунктам:

п.3. Теория колебаний механических систем.

п. 13. Динамика систем, состоящих из абсолютно твердых и деформируемых тел, в том числе машин, приборов и конструкций.

п.14. Математическое и компьютерное моделирование кинематики и динамики механических систем, в том числе машин, приборов и их элементов при динамических, статических, тепловых и других видах воздействий.

п.15. Экспериментальное исследование динамики систем тел, в том числе летательных аппаратов, машин, приборов и конструкций (только технические науки).

СООТВЕТСТВИЕ АВТОРЕФЕРАТА ОСНОВНЫМ ПОЛОЖЕНИЯМ ДИССЕРТАЦИИ

Содержание автореферата в достаточной мере передаёт основные положения диссертации и содержит всю необходимую информацию для качественной оценки проведённого исследования. В автореферате приведены сведения об основных публикациях автора по теме диссертации. Структура и объём автореферата соответствуют требованиям ВАК.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ И ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследования обладают научной и практической значимостью и могут быть использованы при проектировании подъемно-транспортных машин и механизмов, каркасов промышленных зданий, мостовых сооружений и эстакад, работающих в условиях динамических нагрузок. Разработанные экспериментальные методики применимы в практике лабораторных испытаний стержневых систем, а созданное программное обеспечение может быть интегрировано в системы автоматизированного проектирования и мониторинга технического состояния конструкций. Предложенные подходы могут быть также использованы при разработке нормативных документов по расчёту трубобетонных конструкций на динамические воздействия.

АПРОБАЦИЯ И ПУБЛИКАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты доложены на конференциях различного уровня (всероссийских и международных), а также внедрены в научно-

исследовательские и проектные организации и в учебный процесс ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Материалы диссертации отражены в 27 научных работах, среди которых:

- 3 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых изданий по специальности 1.1.7 и приравненных к ним публикаций в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных;
- 7 статей в журналах, входящих в перечень рецензируемых изданий по смежным специальностям;
- 1 коллективная монография;
- 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ;
- 14 публикаций в сборниках трудов конференций.

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ

1. В первой главе приведен обширный обзор методов исследования динамики систем (эффект Доплера, Вавилова-Черенкова, метод Кольского и т.д.), однако не в полной мере показано, какие именно элементы этих фундаментальных подходов были непосредственно использованы автором при разработке собственных экспериментальных методик. Хотелось бы видеть более четкую связь между обзором и последующими главами.

2. При аппроксимации зависимости приведенного коэффициента $E_N(N)$ полиномом третьей степени (рис. 2.8) не указаны доверительные интервалы и коэффициент детерминации R^2 . Для практического использования полученной формулы желательно привести оценку погрешности аппроксимации.

3. В третьей главе при масштабном моделировании (М 1:6) использовался цементно-песчаный раствор М100 вместо бетона с мелким заполнителем. Насколько, по мнению автора, отличается демпфирующее поведение раствора от реального бетона? Не могло ли это повлиять на

количественные значения эффекта внедрения сердечника (более 10%) при переносе результатов на натурную конструкцию?

4. В четвертой главе при численном анализе фланцевых узлов (п. 4.1.1, 4.1.2) не указаны конкретные типы и классы прочности болтов, а также принятые коэффициенты трения во фланцевом соединении. Учитывая, что в российской практике и Еврокоде подходы к расчету болтов различаются, следовало бы более подробно описать граничные условия модели.

Замечания не носят принципиального характера и не ставят под сомнение основные научные результаты и защищаемые положения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Диссертация Шкоды Ирины Васильевны «Методики экспериментальных исследований собственных и вынужденных колебаний в стержневых трубобетонных конструкциях» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. В ней на основании выполненных исследований предложены новые экспериментальные методики оценки динамических характеристик трубобетонных стержней, имеющие значение для развития теоретической механики и динамики машин.

Анализ публикаций по теме диссертации позволяет сделать вывод о значительном авторском вкладе соискателя.

Диссертация соответствует требованиям пунктов 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, Шкода Ирина Васильевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. «Теоретическая механика, динамика машин».

Отзыв рассмотрен и утвержден на расширенном заседании кафедры теоретической механики и сопротивления материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», протокол №1 от 31 августа 2026 г.

Председатель заседания:

Кандидат технических наук (научная
специальность 05.23.01 «Строительные
конструкции, здания и сооружения»),
доцент, заведующий кафедрой
теоретической механики и сопротивления
материалов



Дегтярь Андрей Николаевич

«31» августа 2026 г.

Сопредседатель заседания:

Доктор технических наук (научная
специальность 05.02.13 «Машины,
агрегаты и процессы (по отраслям)»)
профессор кафедры теплогазоснабжения и
вентиляции



Уваров Валерий Анатольевич

«31» августа 2026 г.

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова».

Адрес: 308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46

Тел.: 8 (472) 254-20-87

Сайт: <http://www.bstu.ru/>

E-mail: rector@intbel.ru, davydenko@intbel.ru

С отзывом ознакомлен 24.09.2026 Шкода И.В.