

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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 диссертации.

Современный этап развития строительной и машиностроительной отрасли характеризуется широким внедрением композитных материалов, позволяющих повысить эксплуатационные характеристики конструкций при одновременном снижении материалоемкости. Одним из таких материалов является трубобетон, представляющий собой замкнутую стальную оболочку, заполненную бетонным ядром. Такая компоновка обеспечивает взаимное усиление свойств компонентов: сталь воспринимает растягивающие напряжения и предотвращает хрупкое разрушение бетона, а бетон, в свою очередь, повышает устойчивость оболочки и увеличивает общую жёсткость элемента.

Несмотря на очевидные преимущества трубобетона при статическом нагружении, его поведение в условиях динамических воздействий изучено фрагментарно. Особенно это касается влияния продольных сжимающих усилий – штатного режима работы колонн и стоек – на демпфирующие способности композита. Отсутствие надёжных экспериментальных методик, позволяющих количественно оценить этот эффект, затрудняет применение трубобетона в конструкциях, подверженных вибрациям, ударным нагрузкам и сейсмическим воздействиям.

В связи с изложенным диссертационное исследование Шкоды И.В., направленное на создание и верификацию экспериментальных подходов к изучению собственных и вынужденных колебаний предварительно напряжённых трубобетонных стержней, представляет собой актуальную научно-техническую задачу, имеющую как фундаментальное, так и прикладное значение.

Научная новизна работы определяется следующими полученными результатами:

— разработан оригинальный стенд и методика испытаний, позволяющие в рамках единой экспериментальной базы возбуждать как затухающие свободные колебания (ударным импульсом), так и вынужденные

Отдел экспериментальной
и контрольной механики
документов МАИ
«14» 09 2026

колебания (гармоническим воздействием) в образцах, находящихся под регулируемой осевой нагрузкой. Это даёт возможность отдельно оценивать вклад сжимающей силы в изменение упругих и диссипативных свойств композита;

— впервые выявлена немонотонная зависимость частотных характеристик от мощности возмущающего воздействия для образцов различного диаметра. Обнаруженный эффект смены знака зависимости (рост частоты при увеличении мощности для одних типоразмеров и снижение — для других) указывает на сложный, ранее не описанный характер динамического отклика трубобетона, связанный с масштабными факторами и, возможно, с нелинейным поведением бетонного ядра;

— на масштабных моделях каркасов (1:6) количественно подтверждено, что замена полых стальных стержней на трубобетонные приводит к снижению резонансных частот и увеличению скорости затухания колебаний. Показано, что эффективность такого конструктивного решения существенно зависит от направления приложения динамической нагрузки и жёсткости системы;

— предложен способ назначения жесткостных параметров (продольной и изгибной жёсткостей) для стержневых конечно-элементных моделей трубобетона, базирующийся не на расчётных или численных значениях, а на результатах прямых натурных испытаний коротких и длинных образцов. Такое решение повышает адекватность моделирования при расчёте сложных пространственных конструкций по сравнению с традиционными подходами, использующими теоретические или усреднённые характеристики;

— на основе параметрического численного анализа определены оптимальные конфигурации фланцевых соединений для труб круглого и прямоугольного сечений. Установлено, что применение прорезных узлов с рёбрами жёсткости позволяет снизить металлоёмкость без ухудшения несущей способности.

Объем и структура диссертации.

Диссертация имеет классическую структуру: введение, четыре главы, заключение, список литературы (284 источника) и приложения. Общий объём составляет 162 страницы, включая 77 рисунков и 15 таблиц. Содержание работы полностью соответствует заявленной теме и поставленным задачам.

Во введении убедительно обоснована актуальность, сформулированы цели, задачи, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе выполнен глубокий аналитический обзор, охватывающий не только работы по трубобетону, но и фундаментальные исследования динамики систем с подвижными нагрузками, волновые эффекты, а также современные экспериментальные методы (метод Кольского и его модификации). Выявлены пробелы, на устранение которых направлено исследование.

Вторая глава содержит подробное описание авторских экспериментальных установок и методик. Приведены и проанализированы осциллограммы свободных и вынужденных колебаний. Особый интерес представляют графики зависимости частоты от мощности возмущения для образцов разного диаметра, демонстрирующие качественно различное поведение.

Третья глава посвящена сравнительным испытаниям масштабных моделей каркасов. Детально описана процедура учёта законов подобия. Получены количественные оценки эффекта от заполнения стержней бетоном при различных углах приложения нагрузки и разной жёсткости системы.

Четвёртая глава состоит из двух самостоятельных частей. В первой представлены результаты численного моделирования фланцевых узлов, во второй – методика экспериментального определения жёсткостей для стержневых конечных элементов. Завершает главу проверка прочности колонны с использованием полученных характеристик.

В заключении сформулированы основные выводы, соответствующие поставленным задачам.

Практическая значимость работы.

Разработанные экспериментальные методики могут быть внедрены в практику заводских лабораторий и сертификационных центров для оценки динамических характеристик трубобетонных изделий:

- созданное программное обеспечение (два свидетельства о регистрации) автоматизирует обработку данных акселерометров и расчёт разрушающих нагрузок, что сокращает трудоёмкость экспериментальных исследований;

- предложенные конструктивные решения фланцевых узлов позволяют оптимизировать соединения трубчатых элементов при проектировании каркасов зданий и эстакад;

- результаты работы уже использованы в проекте «Техноплатформа 2035» (ННГАСУ) и в деятельности АО «ТЕМП-АВИА», что подтверждено

соответствующими актами;

— материалы диссертации целесообразно включить в учебные курсы по динамике сооружений, экспериментальной механике и численным методам расчёта для студентов строительных и машиностроительных специальностей.

Достоверность и обоснованность полученных автором результатов обеспечивается комплексным применением взаимодополняющих методов: аналитических выкладок на основе классической теории колебаний, натурных экспериментов с использованием сертифицированного измерительного оборудования (трёхосные акселерометры, тензодатчики), а также конечно-элементного моделирования в программных комплексах IDEA StatiCa и SCAD.

Экспериментальная часть работы выполнена на достаточном количестве образцов (три типоразмера, несколько уровней нагружения, серии из 4–5 повторных измерений для каждого режима), что обеспечивает статистическую значимость полученных данных. Хорошая сходимость результатов натурных испытаний и численных расчётов, а также согласие с известными данными для стали и железобетона подтверждают корректность предложенных методик.

Публикации и апробация.

Результаты работы достаточно полно опубликованы: 27 научных трудов, включая 3 статьи в журналах из перечня ВАК по специальности 1.1.7 (две из них индексируются в Scopus), 7 статей в рецензируемых изданиях по смежным специальностям, 1 монография, 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, 14 публикаций в сборниках конференций.

Результаты апробированы на всероссийских и международных конференциях:

1. **Шкода, И.В.** Исследование динамических характеристик макетов каркаса промышленного здания со сквозными трубобетонными колоннами / И.В. Шкода, О.И. Ведяйкина, П.А. Хазов // Необратимые процессы в природе и технике. Сборник статей XIII Всероссийской конференции. В 2-х томах. - Москва, 2025. – С.267-270.

2. **Шкода, И.В.** Модельные исследования динамических процессов в подкрановых конструкциях с трубобетонными колоннами / И.В. Шкода, О.И. Ведяйкина // Сб. тезисов. Междунар. конф. Нижегород. фестиваля наук: сб. тезисов. - Нижний Новгород, 2025. – С.82-83.

3. **Шкода, И.В.** Экспериментальное исследование динамических процессов в сталебетонных конструкциях / И.В. Шкода, О.И. Ведяйкина // Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖивКоМ – 2024): сб. трудов. XVII междунар. науч.-тех. конф. – Москва, 2024. – С. 308-313.

4. **Шкода, И.В.** Влияние продольной силы на динамический отклик сталебетонных стержней при гармонических нагрузках / И.В. Шкода // Акустика среды обитания: сб. трудов. IX Всерос. конф. молодых ученых и специалистов – Москва, 2024. – С. 415-423.

5. Ситникова, А.К. Экспериментальные исследования динамических характеристик трубобетонных конструкций / К.А. Ситникова, **И.В. Шкода** // Сб. докл. XIII Всерос. фестиваль науки: сб. докл. - Нижний Новгород, 2023. – С. 103-105.

6. Тягунова, Л.Ю. Определение динамических характеристик древесины при экспериментальной оценке уровня колебаний и вибраций / Л.Ю. Тягунова, **И.В. Шкода** // Сб. докл. XII Всерос. фестиваль науки: сб. докл. - Нижний Новгород, 2022. – С. 1292-1295.

7. Исаева, Е.П. Численный анализ вариантов фланцевых узлов ребристо-кольцевой купольной системы / Е.П. Исаева, Н.Г. Абраамян, **И.В. Шкода**, П.А. Хазов // Сб. докл. XII Всерос. фестиваль науки: сб. докл. - Нижний Новгород, 2022. – С. 1281-1288.

8. **Шкода, И.В.** Оптимизация сопряжения элементов купола / И.В. Шкода, П.А. Хазов // Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖивКоМ - 2020) – 2016: сб. ст. XIV междунар. науч.-тех. конф. – Москва, 2020. – С. 270-273.

9. **Шкода, И.В.** Анализ прочностных характеристик различных вариаций исполнения фланцевого узла из гнутосварных труб прямоугольного сечения при изменении толщины пластины фланца / И.В. Шкода // Технические науки: сб.ст. сессии молодых ученых. – Н.Новгород, 2020. – С. 149-153.

10. **Шкода, И.В.** Совершенствование монтажного узлового соединения купольного покрытия из труб / И.В. Шкода, Е.Н. Облетов // Великие реки 2022: тр. 18-й Междунар. науч.-промышленного форума. – Н.Новгород, 2022. – С. 400-403.

11. **Шкода, И.В.** Сравнительный анализ деформативно-прочностных характеристик различных вариаций исполнений фланцевого узла из

прямоугольных гнутосварных труб / И.В. Шкода // Сб. докл. X Всерос. фестиваль науки: сб. докл. - Нижний Новгород, 2020. – С. 90-93.

12. **Шкода, И.В.** Исследование напряженно-деформированного состояния в элементах фланцевого узла при изменении толщины фланца / И.В. Шкода // Сб. докл. X Всерос. фестиваль науки: сб. докл. - Нижний Новгород, 2020. – С. 86-89.

13. **Шкода, И.В.** Напряженно деформированное состояние узлов сопряжения металлических ребристо-кольцевых куполов из трубчатых профилей / И.В. Шкода, Е.В. Смирнова // Сб. докл. X Всерос. фестиваль науки: сб. докл. - Нижний Новгород, 2020. – С. 284-291.

14. **Шкода, И.В.** Анализ напряженно - деформированного состояния монтажного узла ребристого купола / И.В. Шкода // Сб. докл в 2-х томах. IX Всерос. фестиваль науки: сб. докл. - Нижний Новгород, 2020. – С. 70-74.

Замечания по диссертации и автореферату.

1. В первой главе, при обсуждении метода Кольского и его модификаций, автор перечисляет достоинства этого подхода, но не поясняет, почему для решения своих задач он выбрал более простую ударную методику. Было бы полезно добавить сравнительный анализ точности и трудоёмкости различных методов применительно к трубобетону.

2. При описании экспериментальной установки для вынужденных колебаний (глава 2) указано, что использовался электродвигатель с эксцентриком, но не приведены параметры эксцентриситета и диапазон регулировки частоты вращения. Это затрудняет оценку того, в какой области частот проводились испытания и достигался ли резонанс.

3. В третьей главе, при масштабном моделировании, автор использовал цементно-песчаный раствор вместо бетона. Следовало бы отдельно обсудить, насколько корректно переносить количественные результаты (проценты снижения частоты, увеличения декремента) на натурные конструкции, где свойства бетона иные. Желательно привести оценку возможной погрешности.

4. В четвёртой главе при анализе фланцевых узлов в IDEA StatiCa не указано, учитывалась ли нелинейность материала (пластичность стали) и контактное взаимодействие между фланцами. Это важно, так как при больших нагрузках распределение усилий в болтах может существенно меняться.

5. Автор приводит полиномиальную зависимость приведённого коэффициента упругости от осевой нагрузки, но не предлагает физической

модели, объясняющей такой характер кривой. Было бы интересно увидеть гипотезу о механизмах, приводящих к росту эффективной жёсткости при увеличении сжатия.

Все перечисленные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

Соответствие содержания диссертации и автореферата указанной специальности.

Содержание и полученные результаты диссертационной работы соответствуют паспорту научной специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин в пунктах 3, 13, 14, 15.

Автореферат объёмом 23 страницы полностью отражает содержание диссертации. В нём чётко сформулированы цель, задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены основные результаты и выводы. Структура автореферата соответствует логике диссертационного исследования.

Заключение.

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям пунктов 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), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук. Полученные в диссертации результаты позволяют восполнить недостаток экспериментальных данных о влиянии осевого сжатия на частотные и демпфирующие характеристики трубобетонных стержней. Разработанные автором методики могут быть непосредственно использованы при проектировании и расчётном анализе подкрановых конструкций, каркасов промышленных зданий, мостовых сооружений и эстакад, работающих в условиях вибраций и повторно-кратковременных нагрузок. Кроме того, предложенные подходы применимы при создании систем мониторинга технического состояния строительных конструкций по вибрационным параметрам, а также при разработке нормативных документов по расчёту трубобетона на динамические воздействия и в практике лабораторных испытаний. Основное содержание диссертации соответствует пунктам 3, 13, 14,

15 паспорта научной специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин. Соискатель Шкода Ирина Васильевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры «Прикладная математика и системный анализ»

СГТУ имени Гагарина Ю.А.,

д.т.н., профессор



Виктор Сергеевич Попов

« 08 » 09 2026 г.

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Адрес места работы: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77.

Телефон +7 (927) 162 68 26.

E-mail: vic_p@bk.ru

Научная специальность, по которой защищена докторская диссертация: 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Ученое звание профессора по кафедре «Теплогазоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика».

Я, Попов Виктор Сергеевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных, содержащихся в настоящем отзыве, в документы, связанные с защитой диссертации Шкоды Ирины Васильевны, и их дальнейшую обработку.



В.С. Попов

Подпись профессора, доктора технических наук Попова Виктора Сергеевича удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета

СГТУ имени Гагарина Ю.А.



А.В. Потапова

Сотзывом ознакомлен

24.09.2026 Шкода Шкода И.В.