

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.286.05,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Воронежский государственный технический университет»,  
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 20.12.2024 № 34

О присуждении Раводину Илье Владимировичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Развитие методики расчета колебаний неразрезных упруго опертых конструктивно-нелинейных балочных систем при движущейся нагрузке» по специальности 2.1.9. Строительная механика принята к защите «04» сентября 2024 года (протокол заседания № 31) диссертационным советом 24.2.286.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 394006, г. Воронеж ул. 20-летия Октября, 84, приказ о создании диссертационного совета №257/нк от 28.02.2020 г.

Соискатель Раводин Илья Владимирович, 2 ноября 1992 года рождения, в 2017 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет» с присвоением квалификации магистр по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство», программа «Теория и проектирование зданий и сооружений»; в 2021 году окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет» по направлению подготовки 08.06.01 «Техника и технологии строительства», специальность 05.23.17 «Строительная механика». Работает в должности главного конструктора отдела архитектурно-строительного проектирования ООО ПК «ССТМ».

Диссертация выполнена на кафедре строительной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель – Гриднев Сергей Юрьевич**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», кафедра строительной механики, профессор, действительный член Академии транспорта РФ.

**Официальные оппоненты:**

1. **Зылев Владимир Борисович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего

образования «Российский университет транспорта», кафедра «Строительная механика», заведующий кафедрой.

**2. Глушков Сергей Павлович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», кафедра «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», профессор,

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (г. Пенза) в своем положительном отзыве, подписанном Шеиным Александром Ивановичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Механика», и утверждённом Болдыревым Сергеем Александровичем, кандидатом технических наук, доцентом, ректором ФГБОУ ВО «ПГУАС» указала, что диссертационная работа Раводина Ильи Владимировича «Развитие методики расчета колебаний неразрезных упруго опертых конструктивно-нелинейных балочных систем при движущейся нагрузке» является завершённой научно-квалификационной работой и соответствует паспорту научной специальности 2.1.9. Строительная механика в части: п. 2 Линейная и нелинейная механика конструкций, зданий и сооружений, разработка физико-математических моделей их расчета; п. 4 Численные и численно-аналитические методы расчета зданий, сооружений и их элементов на прочность, жесткость, устойчивость при статических, динамических, температурных нагрузках и других воздействиях; п. 12. Исследование и моделирование нагрузок и воздействий на здания и сооружения.

Диссертационная работа Раводина Ильи Владимировича на тему «Развитие методики расчета колебаний неразрезных упруго опертых конструктивно-нелинейных балочных систем при движущейся нагрузке» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и обладающей научной новизной. Выдвигаемые соискателем положения, а также сформулированные выводы и результаты исследования являются обоснованными и значимыми для науки и практики. Материалы диссертации полностью отражены в работах, опубликованных соискателем.

Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Раводин Илья Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Научные работы соискателя полно излагают материалы диссертационного исследования, в которых разработана общая методика расчета колебаний конструктивно-нелинейных динамических систем при движущейся нагрузке.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них 4 – в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК РФ (3 из них индексируются в международных базах Web of Science и Scopus). По

теме диссертации получены 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Общий объем опубликованных научных работ по теме исследования – 5,4 п. л., в том числе личная доля соискателя 4,3 п. л.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. **Ravodin, I.** Verification of the modeling results of oscillations of an elastic-supported system with displacement limiters under moving load / I. Ravodin, S. Gridnev, Y. Skalko, V. Safronov, T. Van Tran Thi // Australian Journal of Structural Engineering. – 2024. – 25 (1). – P. 98-105.

2. Гриднев С.Ю. Экспериментальный анализ колебаний натурной модели упруго-опертой динамической системы с ограничителями хода / С.Ю. Гриднев, **И.В. Раводин** // Строительная механика и конструкции. – 2021. – Вып. № 2 (29). – С. 92-103.

3. Gridnev S. Simulation of vibrations of a continuously elastic supported rod with varying boundary conditions under the action of a movable load/ S. Gridnev, Yu. Skalko, **I. Ravodin**, V. Yanaeva // MATEC Web of Conferences. – 2018. – 196. – 01053.

4. Gridnev S. Finite element modeling of a moving load using contact conditions / S. Gridnev, **I. Ravodin** // MATEC Web of Conferences. – 2018. – 196. – 01044.

**Зарегистрированные программы для ЭВМ:**

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017664050. Рос. Федерация. Расчёт колебаний упруго опертого стержня с ограничителями хода под действием движущейся нагрузки. / С.Ю. Гриднев, **И.В. Раводин**; заявитель и правообладатель ВГТУ (RU). – №2017660678; заявл. 23.10.17; опубл. 14.12.17, Реестр программ для ЭВМ.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615052. Рос. Федерация. Численный анализ нелинейных колебаний упруго опертой деформируемой системы с ограничительными опорами по концам. / С.Ю. Гриднев, **И.В. Раводин**, Ю.И. Скалько, В.В. Янаева; заявитель и правообладатель ВГТУ (RU). – №2018612057; заявл. 05.03.18; опубл. 23.04.18, Реестр программ для ЭВМ.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы**, в которых отмечается актуальность исследования, достоверность полученных результатов, обоснованность и новизна выдвигаемых положений и выводов, их значение для науки и практики. **Все отзывы положительные.** В них содержатся следующие замечания:

1. **Цвигунов Дмитрий Геннадьевич**, доцент кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения» ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», кандидат технических наук: 1) в автореферате недостаточно внимания уделяется сравнению с работами других авторов в данной области. Было бы полезно проанализировать, как предложенная методика соотносится с уже существующими подходами и чем она является перспективной; 2) в диссертации автор тестирует применение различных систем базисных функций для построения вычислительного алгоритма. Чем обусловлен выбор непрерывных кусочно-линейных функций в качестве базиса?

2. **Пайзулаев Магомед Муртазалиевич**, заведующий кафедрой «Сопrotивления материалов, теоретической и строительной механики» ФГБОУ

ВО «Дагестанский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент: не указано, какими преимуществами и недостатками обладает программный комплекс LS-Dyna по сравнению с другим программным обеспечением МКЭ.

**3. Карцов Сергей Константинович**, профессор кафедры строительной механики ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», доктор технических наук: 1) при каких граничных условиях реализуется динамическая модель в начале первого участка L1 и в конце последнего L2? 2) какая модель динамического контакта несущей конструкции с опорой реализуется при замыкании зазора?

**4. Овчинников Илья Игоревич**, доцент кафедры «Транспортное строительство», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», доктор технических наук, доцент: 1) автореферат не содержит обширного сравнительного анализа с существующими методами и подходами, что могло бы продемонстрировать преимущества предложенной методики более наглядно; 2) перечисленные пункты заключения являются перечислением того, что было сделано автором работы, хотелось бы увидеть выводы, сделанные автором.

**5. Гречухин Владимир Александрович**, заведующий кафедрой «Мосты и тоннели» Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь, г. Минск), кандидат технических наук, доцент: в качестве замечания отмечу, что автор не всегда придерживается требований к оформлению автореферата, рекомендованных ГОСТ Р 7.0.11-2011. Это касается, в частности, подписей на рисунках, а также списка публикаций по теме диссертации.

**6. Тамразян Ашот Георгиевич**, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», действительный член Российской инженерной академии (РИА), академик РААСН, доктор технических наук, профессор: 1) как вы оцениваете влияние различных видов движущейся нагрузки на динамическое поведение рассматриваемых систем? 2) судя по графику изменения динамического давления (рис.9), действующего на балку, динамический эффект от движущейся нагрузки практически отсутствует. С чем это связано?

**7. Ключев Сергей Васильевич**, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Ресурсо-энергосберегающих технологий, оборудования и комплексов» ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», доктор технических наук, доцент и **Шорстов Роман Александрович**, главный специалист института заочного образования ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», кандидат технических наук: в автореферате не указаны перспективы дальнейшего исследования.

**8. Коробко Андрей Викторович**, профессор кафедры мехатроники, механики и робототехники ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», доктор технических наук, профессор: 1) какие особенности динамического поведения балочных систем с ограничительными опорами были выявлены в ходе исследования? 2) какие перспективы дальнейшего развития

методики расчёта колебаний конструктивно-нелинейных балочных систем при подвижной нагрузке?

9. **Трещев Александр Анатольевич**, заведующий кафедрой ССМиК ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», член Национального комитета РАН по теоретической и прикладной механике, академик РААСН, доктор технических наук, профессор и **Бажутова Виолетта Олеговна**, старший преподаватель кафедры ССМиК ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», кандидат технических наук: 1) в тексте автореферата на странице 11 упоминается ПО Midas NFX, предназначенное для выполнения инженерных расчетов, специализирующееся на анализе строительных конструкций. Указано, что рассмотрен способ моделирования воздействия подвижной неинертной нагрузки на конструктивно-нелинейную упруго опертую балочную систему в ПО Midas NFX. Далее автор диссертации переключается на описание расчетной модели в LS-Dyna и больше не упоминает Midas NFX в автореферате, каких-либо результатов, связанных с этим программным комплексом, тоже нет. В методах исследования упомянут только комплекс ANSYS/LS-Dyna; 2) на странице 16 автореферата приведены совмещенные графики колебаний балочной системы при некоторой скорости «тележки», полученные расчетным путем и в ходе эксперимента. На рисунках 10 и 11 показаны результаты расчетов в LS-Dyna, MATLAB, проведено сравнение с экспериментальными данными. На рисунках 10б, 11а и б можно видеть, что погрешность на определенных отрезках времени стремится к 100% (перемещения), что весьма существенно. Автор в тексте автореферата никак не комментирует и не обсуждает такие результаты; 3) из текста автореферата не понятно, исследовал ли автор диссертации вопрос сходимости конечно-элементной модели в зависимости от степени ее дискретизации, что важно для оценки количественных результатов. В тексте диссертации на странице 113 лишь фиксируется количество используемых конечных элементов без какого-либо объективного обоснования такого выбора; 4) в тексте автореферата следовало бы указать соответствие исследования конкретным пунктам паспорта специальности 2.1.9. Строительная механика.

10. **Лампси Борис Борисович**, заведующий кафедрой Теории сооружений и технической механики ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», кандидат технических наук, доцент и **Хазов Павел Алексеевич**, доцент кафедры Теории сооружений и технической механики ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», кандидат технических наук, доцент: без замечаний.

11. **Колесников Александр Георгиевич**, заведующий кафедрой уникальных зданий и сооружений ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», кандидат технических наук, доцент: в автореферате указано, что автором работы разработана и изготовлена испытательная установка, на которой проведена серия испытаний. Однако, из текста автореферата не ясно, сколько испытаний было включено в серию, как была выполнена обработка результатов испытаний, данные о которых представлены на рисунках 10 и 11.

**На замечания соискателем даны исчерпывающие ответы и пояснения.**

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается их широкой известностью и компетентностью в рассматриваемой отрасли наук, наличием значительного количества публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Направления научно-исследовательской деятельности структурного подразделения ведущей организации (кафедры «Механика») соответствуют тематике диссертации.

Согласия на оппонирование диссертации от оппонентов и ведущей организации имеются.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

– **Разработан** вычислительный алгоритм для моделирования конструктивно-нелинейных колебаний упруго опертой балочной системы при движущейся нагрузке с использованием кусочно-линейных базисных функций, позволяющий избежать вычислительных трудностей при неблагоприятном сочетании параметров и включении ограничительных опор.

– **Предложена** методика построения совместной конечно-элементной модели движущейся нагрузки и конструктивно-нелинейной балочной системы в программном комплексе нелинейной динамики LS-Dyna с использованием алгоритма контакта элементов для решения задачи в постановке Моргаевского-Фрыбы-Барченкова.

– **Разработана** лабораторная установка, обладающая высокой степенью универсальности, для верификации и выполнения параметрических исследований конструктивно-нелинейных колебаний балочных систем под действием различных видов динамических нагрузок.

– **Установлены** с помощью верифицированного вычислительного алгоритма области рациональных соотношений параметров упруго опертой балочной системы с ограничительными опорами при движущейся нагрузке.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

– **Разработана** математическая модель конструктивно-нелинейных колебаний упруго опертой балочной системы в обобщенных функциях, которая позволяет включать граничные условия в уравнения модели и не требует подчинения базисных функций граничным условиям.

– **Определены** на основе экспериментальных исследований основные закономерности изменения динамического поведения конструктивно-нелинейной упруго опертой балочной системы при движущейся нагрузке в зависимости от жесткости балки, скорости перемещения груза и жесткости опор.

– **Установлены** зависимости влияния параметров конструкционного демпфирования и демпфирования контактных сил на сходимость и точность решения в LS-Dyna.

– **Выявлены** на основе численных исследований с помощью разработанного алгоритма закономерности влияния параметров многопролетной конструктивно-нелинейной упруго опертой балочной системы на характер колебаний.

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

– **Получены** зависимости, позволяющие подбирать рациональные соотношения жесткости балки и упругих связей, длины пролетов, величины зазоров ограничительных опор проектируемой конструкции.

– **Даны** рекомендации по выбору типов конечных элементов балки, упругих и ограничительных опор, назначению подходящих параметров демпфирования и параметров алгоритма контакта для построения адекватной совместной модели инертной подвижной нагрузки и несущей системы в программном комплексе нелинейной динамики LS-Dyna.

– **Выполнены** параметрические исследования лабораторной модели в широком диапазоне параметров, позволяющие верифицировать результаты численного моделирования конструктивно-нелинейных колебаний упруго опертых балочных систем при движущейся нагрузке.

– **Разработаны и внедрены** расчетные методики для использования в инженерной практике: для оценки напряженно-деформированного состояния несущих конструкций балок конвейерной галереи с учетом динамического давления от сбрасывающей тележки (ООО «Вестерос»); для уточнения напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных пролетных строений (ООО "ТИИС").

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

– **теория** построена на известных положениях строительной механики, динамики сооружений, динамики машин и механизмов, а также методах математического моделирования, основанных на вариационных принципах, методе конечных элементов, теории обобщенных функций;

– **использованы** авторские данные и известные ранее результаты по расчету колебаний разнообразных балочных систем при движущейся нагрузке;

– **результаты численных экспериментов** получены с помощью известных и апробированных методов вычислительной механики, в системах компьютерной математики MATLAB, Wolfram Mathematica, а также с применением программного комплекса Ansys/LS-DYNA;

– **верификация** результатов выполнена с использованием специально изготовленной лабораторной установки и современных измерительных приборов, обеспечивающих воспроизводимость результатов исследований в разных постановках.

– **установлено** качественное и количественное совпадение результатов численного моделирования колебаний динамических систем с результатами экспериментов и известными решениями других авторов.

**Личный вклад автора** заключается в постановке задач для реализации цели диссертации, подборе оптимальных расчётных методик, реализации расчёта для ЭВМ, постановке вычислительных и лабораторных экспериментов, анализе и обработке полученных числовых массивов результатов, подготовке публикаций по материалам выполненных исследований, внедрении полученных результатов в инженерную практику.

Критические замечания не высказывались, но были высказаны замечания по дальнейшему развитию темы диссертации, с которыми согласился соискатель.

Диссертационная работа Раводина Ильи Владимировича «Развитие методики расчета колебаний неразрезных упруго опертых конструктивно-нелинейных балочных систем при движущейся нагрузке» является завершённой научно-квалификационной работой и соответствует паспорту специальности 2.1.9. Строительная механика в части п.п. 2, 4, 12.

На заседании 20 декабря 2024 года диссертационный совет **принял решение:** за решение научной задачи по развитию теоретических положений и обобщению полученных результатов в области расчета колебаний конструктивно-нелинейных упруго опертых балочных систем при движущейся нагрузке, имеющей значение для строительной механики, присудить Раводину И. В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.1.9. Строительная механика, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета



Славчева Галина Станиславовна

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Макеев Алексей Иванович

20.12.2024 г.