

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.508.01
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК», МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 10.06.2026 № 16

О присуждении Цареву Роману Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Нелокальная во времени модель динамического деформирования стержневых систем» по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела принята к защите 08.04.2026 г. (протокол заседания № 15) диссертационным советом 24.1.508.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт прикладной механики российской академии наук», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 125040, г. Москва, Ленинградский просп., д. 7, стр. 1, приказ о создании диссертационного совета 24.1.508.01 – № 2144/нк от «27» ноября 2023 г.

Соискатель Царев Роман Олегович, 27 октября 1998 года рождения, в 2021 году окончил специалитет федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей». Диплом об окончании специалитета серия 107704 № 0267485, выдан 30 июня 2021 года. С 1 сентября 2021 г. и по 2025 г. соискатель проходил обучение в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт Прикладной Механики Российской Академии Наук» (ИПРИМ РАН) по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика». Работает ведущим инженером в отделе комплексного

проектирования искусственных сооружений общества с ограниченной ответственностью «Институт Мосинжпроект».

Диссертация выполнена в отделе «Механика структурированной и гетерогенной среды» федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт прикладной механики российской академии наук», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент Бадьина Елена Сергеевна, доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» и старший научный сотрудник отдела механики структурированной и гетерогенной среды федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт прикладной механики Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

Сердюк Дмитрий Олегович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры 902 «Соппротивление материалов, динамика и прочность машин» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,

Хомченко Антон Васильевич, кандидат технических наук, начальник отдела нагрузок и аэроупругости управления прочностью общества с ограниченной ответственностью «АУРУС-АЭРО» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Научно-исследовательский центр «Строительство» – в своем положительном отзыве, подписанном **Крыловым Сергеем Борисовичем**, доктором технических наук, заведующим лабораторией Механики железобетона №8 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, и утвержденном генеральным директором **Крючковым Виталием Геннадьевичем**, доктором экономических наук - указала, что диссертация Царева Романа Олеговича, представленная на соискание ученой степени кандидата технических, является научно-квалификационной работой, в которой

содержится решение научной задачи разработки математической модели динамического поведения неконсервативных стержневых элементов и систем, выполненных из композитных материалов, с учетом характерных особенностей их деформирования, имеющей значение для развития механики деформируемого твёрдого тела, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней. Её автор, Царев Роман Олегович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твёрдого тела».

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 3 работы.

Общий объем публикаций составляет 2.56 усл. п.л., из них авторский вклад 1.69 п.л.

К наиболее значимым работам относятся:

1. Sidorov, V. N. Dynamic Model of Beam Deformation with Consider Nonlocal in Time Elastic Properties of the Material / V. N. Sidorov, E. S. Badina, R. O. Tsarev // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2022. – Vol. 18, No. 4. – P. 124-131.

2. Sidorov, V. N. Calibration of the Nonlocal Dynamic Deformation Model of a Flexural Beam Based on Numerical Experiment Results / V. N. Sidorov, E. S. Badina, R. O. Tsarev // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2024. – Vol. 20, No. 2. – P. 132-140.

3. Sidorov, V. N. Nonlocal in time dynamic deformation model and its calibration based on the beam vibration experiment results/ V. N. Sidorov, E. S. Badina, R. O. Tsarev // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2025. – Vol. 21 No. 2. – P. 161-170.

Работы посвящены исследованию и разработке нелокальной во времени модели динамического деформирования элементов для расчёта стержневых систем.

На диссертацию и автореферат поступили **ОТЗЫВЫ:**

от **научного руководителя, ведущей организации и официальных оппонентов**, отзывы положительные;

от **Дмитриевой Татьяны Львовны**, доктора технических наук, профессора, заведующей кафедрой «Механика и сопротивление материалов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», отзыв положительный;

от **Теличко Виктора Григорьевича**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Строительство, строительные материалы и конструкции» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет», отзыв положительный;

от **Кезина Артёма Сергеевича**, кандидата технических наук, технического директора организации с ограниченной ответственностью «Пелискер», отзыв положительный;

от **Моргульца Сергея Владимировича**, кандидата технических наук, начальника сектора Общества с ограниченной ответственностью Научно-технологического испытательного центра «АпАТЭК-Дубна», отзыв положительный;

от **Потапова Александра Николаевича**, доктора технических наук, профессора, члена-корреспондента РААСН, профессора кафедры «Строительное производство и теория сооружений» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский институт)», отзыв положительный;

от **Галишникова Александра Александровича**, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры общей физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», отзыв положительный;

от **Мазура Геннадия Эдуардовича**, доктора технических наук, главного специалиста отдела программного обеспечения Открытого акционерного общества «Институт Гипростроймост», отзыв положительный;

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

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве **ведущей организации** – акционерного общества «Научно-исследовательский центр «Строительство» - имеются следующие замечания:

1. Основная предпосылка разработанной модели постулирует тот факт, что упругие свойства материала меняются в течении небольшого промежутка времени, что оказывает влияние на амплитуду колебаний конструкции. Следовало бы привести примеры таких материалов. В настоящий момент данная модель носит феноменологический характер и, по сути, обеспечивает снижение демпфирования колебаний.

2. Чем обосновывается выбор в качестве ядра нелокального оператора функции ошибок?

3. В численных примерах в главах 2 и 3 автор рассматривает конструкции (балку и раму) из полимерного материала с размерами, характерными для реальных несущих строительных конструкций. Конструкции таких размеров не выполняют из полимерных материалов. Желательно, чтобы примеры конструкций были бы приближены к практике.

4. В конечно-элементных моделях, разработанных в программе MIDAS из 3D-элементов, содержится очень мало элементов в сечении (2х3 и 2х2 элемента в пределах сечения). Это может повлиять на точность калибровки модели автора.

5. В главе 3 при выполнении калибровки модели автора содержится логическое противоречие. А именно: свойства нелокальной во времени модели автора подбираются таким образом, чтобы результат соответствовал колебаниям локальной во времени модели, собранной из 3-мерных элементов.

6. В п. 3.3 главы 3 автор сравнивает колебания стержневой локальной модели с демпфированием по Фойгту с колебаниями модели из 3D-элементов, построенной в программе MIDAS. На основании этого делается вывод о низкой точности классического подхода. Корректность такого сравнения сложно оценить. Возможно, при уточнении параметров демпфирования по Фойгту, или при задании другого декремента колебаний, разница в результатах была бы менее выражена. В любом случае для обоснования сделанного вывода было бы правильно сравнить стержневую модель и 3D-модель, разработанную в одной и той же программе из материала с одними и теми же свойствами.

7. При сравнении графиков колебаний опытных моделей и локальных моделей подразумевается, что разница в амплитудах колебаний связана с низкой точностью классической 1-мерной модели. В действительности в диссертации этот вопрос не исследован. Возможно, что при правильном задании демпфирования в классической модели, удалось бы добиться совпадения амплитуд.

Замечания в отзыве **официального оппонента Сердюка Дмитрия Олеговича**

1. Во второй главе при выводе конечно-элементных соотношений нелокальной во времени модели динамического деформирования не отмечено, какая использовалась балочная теория – Бернулли-Эйлера, Тимошенко, Чоу и т.д. О том, что учтены гипотезы Бернулли-Эйлера, приходится догадываться по косвенным признакам. Обоснование выбора данной теории, характеризующейся бесконечной скоростью распространения возмущений, в работе также не обсуждается.

2. В третьей главе при проведении численных расчетов отмечается, что рассмотрен трансверсально-изотропный материал – термореактивный винилэфирный стеклопластик I класса, однако тензор упругих постоянных для указанных модулей упругости первого и второго рода в сочетании с коэффициентами Пуассона не демонстрирует связь компоненты тензора $c_{66} = (c_{11} - c_{12})/2$

3. Третья глава посвящена численным расчётам с применением метода конечных элементов. Метод конечных элементов – это не экспериментальный метод, поэтому говорить об «эксперименте» — значит вводить читателя в заблуждение.

4. В четвертой главе ставится серия экспериментальных исследований динамического отклика балок, выполненных из цементных композитов, где в качестве наполнителей использовались керамические и стеклянные микросферы, в том числе с добавлением микрофибры. Однако, при проведении численных расчетов автор задал приведенные характеристики композита изотропными. Такой подход требует пояснения.

5. Все расчеты, кроме одного, выполнены для граничных условий жесткого защемления торцов балки. В свою очередь, метод конечных элементов достаточно гибок в этом плане, и проведение расчётов для иных граничных условий обогатило бы работу и продемонстрировало отсутствие проблем в разработанном конечном элементе.

6. В численных расчетах П-образной рамы автор использует нерациональное расположение поперечного сечения ригеля.

Замечания в отзыве **официального оппонента Хомченко Антона Васильевича**

1. В диссертации во всех приведенных численных примерах используется ядро интегрального оператора в виде функции Гаусса, однако выбор этого ядра никак не обоснован. Следовало бы представить сравнение результатов, получаемых для различных типов ядер.

2. Определяющее соотношение нелокальной модели Кельвина-Фойгта, позволяющей получить хорошее соответствие экспериментам только на ограниченном диапазоне частот. Применение других моделей внутреннего трения, таких как модель стандартного линейного тела, позволило бы расширить границы применимости разрабатываемой модели.

3. Не приведено обоснование применения модели балки Эйлера-Бернулли при математическом моделировании колебаний балок, используемых

при лабораторных испытаниях. Возможно, для получения лучшего соответствия экспериментальным данным стоило бы использовать модель С.П. Тимошенко.

4. В разделе 2.2 при переходе к дискретному аналогу (формулы 2.33, 2.34) автор вводит аппроксимацию интегрального ядра, но никак не комментирует критерии выбора шага интегрирования dt .

В отзывах на автореферат также присутствуют замечания:

Замечания в отзыве Дмитриевой Татьяны Львовны

1. Выражение (30), которое представляет численную модель динамического поведения стержневой системы содержит коэффициенты α и β (множители при матрице жесткости), которые связаны с масштабным параметром η . Как объяснить тот факт, что параметр η не влияет на значение частоты колебаний, которая напрямую зависит от величины жесткости?

2. Не совсем ясно: задание параметра η возможно только по результатам сопоставления стержневой модели с трехмерной, либо существует определенный алгоритм для его назначения.

3. Параметр τ в выражение (26) это переменная интегрирования. Тогда что означает этот параметр в выражении (28), где дается замена суммированием, а также на рисунке 2?

Замечания в отзыве Теличко Виктора Григорьевича

1. В диссертации утверждается, что разработанная нелокальная во времени модель позволяет описывать поведение материалов с «частотно независимым внутренним трением» (стр. 5, 9, 17-18). Однако в работе не представлено строгого обоснования того, почему именно выбранное ядро в виде функции Гаусса (или экспоненты) обеспечивает частотную независимость диссипативных свойств. Более того, в третьей главе при калибровке модели по численному эксперименту демпфирование в трёхмерной модели было частотно зависимым, а масштабный параметр η , тем не менее, изменялся при изменении длины балки. Лишь после искусственного приведения демпфирования к «условно частотно независимому» путём умножения коэффициента демпфирования на отношение частот автор получил постоянство η . Это ставит под сомнение обоснованность утверждения, что масштабный параметр является

исключительно характеристикой материала, не зависящей от геометрии и граничных условий.

2. Для модели модели построенной в Midas-Civil (стр. 15) указано лишь, что использовались «восьмиузловые твердотельные конечные элементы». Не приведены сведения о количестве элементов по длине балки, о густоте сетки, нет сведений выполнялось ли исследование влияния размера элемента на результаты. Следовательно: нельзя исключить, что расхождение между трёхмерной и одномерной локальной моделью (12,97%) частично обусловлено недостаточной дискретизацией в Midas-Civil, а не только недостатками локального подхода. Также, по разработанной одномерной модели (стр. 11-13) автор не приводит никакого анализа сходимости по числу конечных элементов. Упоминается лишь общее количество степеней свободы (26 для одномерной модели против - 17280 для трёхмерной), что характеризует вычислительную эффективность, но не доказывает, что при увеличении числа одномерных элементов решение сходится к какому-либо пределу. Сравнение количественных расхождений (2,66% после калибровки) представлено как итог, однако не обсуждается, в какой мере эта погрешность связана с параметрами дискретизации (например, с выбором шага по времени при решении методом Ньюмарка, с числом элементов по длине балки).»

Замечания в отзыве **Кезина Артёма Сергеевича**

1. В автореферате сказано, что нелокальные одномерные модели являются более экономичными с точки зрения вычислительных ресурсов в сравнении с трехмерными моделями, однако нигде не приведено конкретных данных, позволяющих оценить, насколько более эффективной является нелокальная модель;

2. Следовало бы рассмотреть и другие типы нагружения при моделировании (кручение, продольные колебания и т.д.);

3. Хотелось бы увидеть расчёты конкретных конструктивных элементов, используемых в строительстве, например, композитной траверсы для подъёма мостовых балок.

Замечания в отзыве **Моргульца Сергея Владимировича**

1. Уровень диссипативных сил в реальных конструкциях исследуемого типа заведомо много меньше сил упругости и инерции, из чего следует, что учет их актуален лишь случае квазирезонансных колебаний, когда упругие и инерционные силы практически уравнивают друг друга и уровень колебаний в значительной мере определяется силами, связанными с диссипацией энергии. Чаще всего приходится иметь дело с квазирезонансными колебаниями, близкими к монохромным - на одной из собственных частот системы. В этом случае предложенный подход представляется вполне приемлемым, поскольку выбор так называемого масштабного параметра (определяющего уровень диссипации) не вызывает вопросов. Но в случае наложения колебаний по разным собственным формам с соответствующими разными частотами это оказывается в принципе невозможным. Таким образом, приходится констатировать, что класс задач, которые можно решать посредством предложенной технологии расчетов, ограничен такими близкими к монохромным колебаниям.

2. Как показывает опыт, эффект диссипации энергии в материале реальных конструкций, как, кстати, и в сочленениях (конструкционное трение), существенно растет с увеличением амплитуды колебаний. Судя по всему, предложенная методика расчетов позволяет учитывать этот фактор за счет введения соответствующих поправок в предлагаемую вычислительную процедуру. В дальнейших исследованиях необходимо проверить это и попытаться сравнить данные расчетов с результатами экспериментов.

Замечания в отзыве **Потапова Александра Николаевича**

1. При сравнении результатов экспериментов в автореферате не указано о каких классических моделях идет речь (о моделях Е.С. Сорокина, А.И. Цейтлина), получившие широкое признание специалистов в области частотно-независимого демпфирования.

2. При решении уравнения движения на каждом шаге итерационного процесса выполняется операция свертки интегрального ядра с векторами перемещений, вычисленных на предыдущих шагах. При этом соискатель учитывает все ординаты асимптотической ядровой функции от начала колебательного процесса, даже когда они близки к нулю. Учет только значимой

части ядра интегрального оператора позволил бы сократить процесс вычислений.

Замечания в отзыве **Галишникова Александра Александровича**

1. На с.8 автореферата указано, что возможно использовать различные типы нелокальности, позволяющие учесть конкретные свойства материала. Не указано как именно выбиралась модель - под рассматриваемые материалы? Или строилась частная модель и рассматривался материал, обладающий конкретными свойствами?

2. Никак не обоснован переход от стеклопластика к композитам на цементной основе, применяемым при лабораторных испытаниях.

3. Хотелось бы увидеть комментарий автора относительно границ применимости модели.

Замечания в отзыве **Мазура Геннадия Эдуардовича**

1. Автор утверждает, что частота колебаний остается неизменной при изменении масштабного параметра. Однако из графиков видно, что частоты колебаний при расчете по разным моделям несколько отличаются. Можно предположить, что зависимость частоты от масштабного параметра существует, но имеет вид, отличающийся от привычного. В частности, хотелось бы увидеть, существует ли «критическое» значение масштабного параметра, при котором колебания невозможны.

2. В работе отсутствует сравнение разработанной модели с известными моделями частотно-независимого внутреннего трения.

3. При верификации метода было бы желательно отфильтровать несколько форм колебаний и проанализировать затухание по каждой форме.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием профиля научных работ, наличием публикаций по теме диссертации и соответствием п. 22 и п. 24 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана нелокальная во времени математическая модель динамического деформирования, применимая для описания динамического поведения стержневых систем, выполненных из композитных материалов;

предложена основанная на алгоритмах оптимизации методика определения масштабного параметра нелокальной модели по экспериментальным данным;

доказано, что разработанная модель может быть использована для описания динамического поведения материалов, характеризующихся частотно независимым внутренним демпфированием;

введен масштабный параметр нелокальной модели, определяющий скорость убывания влияния предыдущей истории деформирования на состояние системы в текущий момент.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность применения нелокального подхода при моделировании колебательного процесса стержневых систем, выполненных из материалов, характеризующихся неоднородностью структуры или анизотропией физико-механических свойств;

применительно к проблематике диссертации эффективно использованы основные положения нелокальной механики, а также численные методы решения оптимизационных задач и динамического анализа;

изложен вывод конечно-элементных соотношений нелокальной модели динамического деформирования;

раскрыты возможности применения нелокального подхода при построении моделей динамического деформирования композитных стержневых систем;

изучено влияние изменения масштабного параметра нелокальной модели на результаты математического моделирования;

проведена модернизация методов математического моделирования поведения композитных стержневых элементов, подверженных динамическим воздействиям;

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

разработана и внедрена в алгоритм метода конечных элементов нелокальная во времени модель динамического деформирования стержневых систем, что делает её применимой для решения прикладных задач;

определено, что одномерная модель, построенная с использованием нелокального подхода, может использоваться в качестве альтернативы детализированным трехмерным моделям, учитывающим в явном виде особенности внутренней структуры материала;

создана методика калибровки нелокальной во времени модели динамического деформирования по результатам экспериментальных исследований;

представлена модификация неявной схемы численного решения уравнения движения метода конечных элементов в нелокальной постановке.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ достоверность результатов обеспечена применением поверенного лабораторного оборудования и апробированных методов испытаний;

теория построена с использованием обоснованных положений нелокальной механики, методов механики деформируемого твердого тела, теории упругости;

идея базируется на принципах нелокальной механики. В основе предложенной теории лежит предположение, что напряженное состояние системы зависит не только от её деформированного состояния в текущий момент времени, но также и от предыдущей истории её деформирования;

использованы математические методы оптимизации для выполнения калибровки разработанной модели по экспериментальным данным;

установлено соответствие результатов, полученных с использованием откалиброванной нелокальной модели, результатам лабораторных и вычислительных экспериментов;

использованы современные верифицированные программные комплексы, основанные на применении апробированных численных методов.

Личный вклад соискателя состоит в: анализе состояния вопроса; разработке математической модели колебательного процесса стержневых элементов с учётом нелокальных во времени упругих свойств материала; выявлении закономерностей изменения результатов моделирования колебательного процесса при изменении масштабного параметра модели нелокальных во времени упругих свойств системы; разработке методики калибровки масштабного параметра модели нелокального во времени динамического деформирования стержневых систем на основе экспериментальных данных, и отработке этой методики; формулировке выводов по итогам исследования; подготовке к публикации научных статей.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что в диссертации:

- соблюдены установленные Положением о присуждении учёных степеней критерии, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени;
- отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации;
- соискатель ссылается на авторов и источники заимствования.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания, связанные с необходимостью дополнительной оценки устойчивости модели к изменению геометрии системы, граничных условий и условий нагружения.

Соискатель Царев Р.О. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, частично согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию значимости проведенных исследований и полученных результатов.

На заседании 10.06.2026 г. диссертационный совет принял решение за анализ и решение научной задачи совершенствования методов математического моделирования динамического поведения неконсервативных стержневых систем, выполненных из композитных материалов, с применением нелокального подхода, имеющей значение для развития механики деформируемого твердого тела присудить Цареву Р.О. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 4 доктора наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 12, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председательствующий, заместитель председателя
диссертационного совета 24.1.508.01,

д.ф.-м.н.

Мовчан А. А.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.508.01,

к.т.н.

Корнев Ю.В.

Подписи Мовчана А.А. и Корнева Ю.В.

заверяю, учёный секретарь ИПРИМ РАН,

к.т.н.



Карнет Ю.Н.

10.06.2026