

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
инновациям Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования «Кубанский
государственный университет»
доктор физико-математических наук, доцент



Шарафан М.В.

2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу *Царева Ивана Сергеевича*
«Волновая динамика балок, лежащих на деформируемых основаниях
и несущих высокоскоростные движущиеся нагрузки»,
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.1.8 — Механика деформируемого твёрдого тела

Актуальность темы диссертации

Растущий пассажиро- и товаропоток порождает необходимость в увеличении скорости движения транспорта. В настоящее время скорость поездов приблизилась, а в некоторых случаях и превысила скорость распространения волн в железнодорожном пути и контактной подвеске. Еще быстрее могут двигаться нагрузки, разгоняемые по рельсовым направляющим реактивных катапультирующих установок (ракетных треков), которые используются для наземной отработки авиационной и ракетной техники. В этой ситуации излучение волн играет существенную роль в динамическом поведении системы, поскольку реакция упругих волн может привести к неустойчивости движущегося высокоскоростного объекта.

При изучении движения нагрузок вдоль одномерных упругих систем основание обычно задается линейно-упругим (основание Винклера) или вязкоупругим, что позволяет учитывать возможность его сопротивления силовому воздействию. Однако, несмотря на актуальность этих задач, ряд вопросов динамики систем с движущимися контактами остается неизученным, в частности, недостаточно исследовано влияние нелинейности упругого основания

на генерацию волн, а также способность основания передавать не только деформации растяжения-сжатия, но и сдвиговые деформации.

Диссертация Царева И.С. нацелена на исследование таких малоизученных случаев обобщенной деформации основания балок, несущих высокоскоростные движущиеся нагрузки, чем и определяется актуальность ее тематики.

Структура и краткое содержание диссертации

Диссертация представляет собой законченное научное исследование, отличающееся целостностью и логической завершенностью. Работа состоит из введения, трех глав, заключения и библиографического списка из 279 наименований. Общий объем работы составляет 123 страницы, включая 25 рисунков.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, достоверность, вклад автора, приведены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзорному анализу динамики распределённых механических систем с движущимися нагрузками. Рассмотрены основные модели балок и деформируемых оснований, применяемые при исследовании волновых процессов в направляющих высокоскоростных транспортных систем. Показано, что одним из ключевых вопросов динамики таких систем является исследование распространения изгибных волн и определение критических скоростей движения нагрузки, при которых существенно возрастает динамический отклик конструкции. А также, проанализированы подходы к моделированию оснований.

Во второй главе рассматриваются вопросы применимости балочных моделей на упругих направляющих, исследуются дисперсионные свойства изгибных волн в балках, лежащих на деформируемых основаниях различных моделей, а также анализируется взаимодействие балки с высокоскоростной движущейся нагрузкой.

В третьей главе рассмотрено развитие математической модели волновой динамики балки за счет учета вращательной инерции поперечного сечения. Также изучено влияние нелинейности упругого основания на дисперсионные свойства изгибных волн и эволюцию квазигармонических волновых возмущений.

В заключении сформулированы основные результаты исследования. Приведённые выводы обоснованы полученными в диссертации аналитическими и численными результатами. Все выводы подтверждены расчётами, апробированы и опубликованы.

Научная новизна проведённых исследований и полученных результатов

Научная новизна работы определяется полученными результатами, среди которых новыми являются следующие:

1. Показано, что изгибные волны, распространяющиеся в балке, лежащей на вязкоупругом основании, обладают не только дисперсией фазовой скорости, но и частотно-зависимым затуханием.

2. В случае идеально-упругого основания с нулевой вязкостью дисперсионная зависимость изгибных волн содержит зону «непропускания» и волновой характер могут иметь лишь возмущения, частоты которых превышают вычисляемую критическую частоту. Даже при малых отличных от нуля значениях вязкости основания зона «непропускания» исчезает и волновой характер могут иметь возмущения любой частоты.

3. При изучении влияния обобщенного (двухконстантного) упругого основания на параметры изгибной волны, распространяющейся в балке, показано, что при возрастании сдвиговой жесткости упругого основания волны, имеющие одинаковое волновое число (т.е. волны одинаковой длины) имеют большую частоту, а также фазовую и групповую скорости.

4. Для уравнения переноса волновой энергии, записанного в дивергентной форме, показано, что средняя скорость переноса энергии ожидаемо равняется групповой скорости изгибной волны, чем дополнительно подтверждается внутренняя физическая непротиворечивости предложенной модели с обобщенным упругим основанием.

5. При исследовании генерация изгибных волн движущейся нагрузкой определены критические значения скорости ее движения. Получено выражение для силы сопротивления движению, обусловленной давлением волн. Определена зависимость постоянной составляющей этой силы от скорости движения объекта.

6. Новыми являются результаты численного анализа дисперсионных характеристик изгибных волн в балке, лежащей на обобщенном упругом основании, с учетом инерции вращения ее поперечного сечения при изгибе (модель Рэлея). Показано, что учет вращательной инерции приводит к снижению фазовой и групповой скорости, особенно в диапазоне малых волновых чисел, где упрощенная модель Бернулли–Эйлера дает завышенные оценки. При этом модель Рэлея демонстрирует согласованность с физическими ожиданиями и предсказуемое асимптотическое поведение как при стремлении волнового числа к нулю, так и к бесконечности.

7. Исследована эволюция квазигармонических изгибных волн в балке, лежащей на обобщенном нелинейно-упругом основании. Показано, что если балка лежит на основании, обладающем жесткой нелинейностью, то возможна самомодуляция распространяющихся в ней изгибных волн, приводящая к их пространственной локализации и разбиению на отдельные волновые пакеты. Ширина волновых пакетов увеличивается с возрастанием линейной жесткости упругого основания. Амплитуда волновых пакетов определяется нелинейной жесткостью упругого основания и уменьшается с ее увеличением.

Оценка теоретической и практической значимости результатов

Разработанные математические модели имеют существенное теоретическое значение для развития механики одномерных распределенных систем, взаимодействующих с деформируемым основанием. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при решении задач о генерации волн в элементах конструкций высокоскоростными движущимися источниками.

Выполненные исследования волновых процессов в упругих направляющих, взаимодействующих с движущимися объектами, позволяют на этапе конструирования наземных транспортных средств проводить оценку энергозатрат на преодоление сил волнового сопротивления движению и вносить допустимые изменения в конструкции с целью их уменьшения. Результаты диссертации могут найти применение в Научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта (АО «ВНИИЖТ», г. Москва), в Федеральном казенном предприятии «Государственный казенный научно-испытательный полигон авиационных систем им. Л.К. Сафронова» (г. Белоозерский, Московская область), в Российском Федеральном ядерном центре – Всероссийском научно-исследовательском институте экспериментальной физики (ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», г. Саров, Нижегородская область), в Ростовском государственном университете путей сообщения (ФГБОУ ВО «РГУПС», г. Ростов-на-Дону).

Обоснованность и достоверность результатов диссертации

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов и выводов обеспечена строгой математической постановкой задач, применением математически обоснованных методов решения, сопоставлением с результатами классических моделей и с имеющимися опытными данными, ранее опубликованными в литературе.

Публикации и соответствие автореферата диссертационной работе

Диссертация соответствует специальности 1.1.8 — Механика деформируемого твёрдого тела. Основное содержание диссертационной работы, её главные результаты в полной мере отражены в 11 публикациях, среди которых 7 статей в журналах, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки РФ и/или в базы Web of Science и Scopus.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Замечания по тексту диссертации

1. На стр. 42 сказано: *«В качестве варьируемого параметра рассматривается величина a , характеризующая влияние вязких свойств основания»*, хотя выше было сказано, что *« a — параметр, характеризующий соотношение между вязкими свойствами деформируемого основания и его упругой жёсткостью»*. Эта двойственность в определении одного из основных параметров вносит путаницу.

2. На стр. 53-54 (глава 2, раздел 2.3) автор пишет, что «Для одномерных процессов плотность потока энергии становится скалярной величиной...». Корректнее было бы написать, что в одномерных моделях ненулевой остается только одна компонента вектора Умова-Пойнтинга и с ним можно оперировать как со скаляром.

3. На стр. 91, там, где говорится о равенстве «средней скорости переноса энергии и групповой скорости изгибных волн», следовало бы уточнить, что речь идет о линейном приближении.

Заключение

Приведённые замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации. В целом диссертационная работа «Волновая динамика балок, лежащих на деформируемых основаниях и несущих высокоскоростные движущиеся нагрузки» представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне, и соответствует квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертационным работам; соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 года (в редакции от 18.03.2023 года), а её автор, Царев Иван Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 — Механика деформируемого твёрдого тела.

Диссертационная работа рассмотрена и обсуждена на Совете Института математики, механики и информатики Кубанского государственного университета, протокол № 2 от « 22 » июля 2026 года.

Отзыв составил:

Глушков Евгений Викторович,

доктор физ.-мат. наук, профессор,

главный научный сотрудник Института математики, механики и информатики КубГУ; e-mail: evg@math.kubsu.ru, тел.: +7-918-3998823.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет» (КубГУ), 350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149

Тел: +7(861)219-95-02, Веб-сайт: <http://www.kubsu.ru>,

e-mail: rector@kubsu.ru

Подпись Глушкова Е.В. заверяю:



Глушкова Е.В.
Г.М. Фадеева