

ОТЗЫВ

ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Литвинова Владислава Львовича
«Математическое моделирование и исследование резонансных свойств
механических объектов с движущейся границей», представленной на соискание
ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2 -
«Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Проблема математического моделирования и анализа динамики механических систем с движущимися границами является одной из наиболее сложных в теории колебаний, что обусловлено нестационарностью самой расчетной области. Представленная диссертационная работа посвящена решению фундаментальной научной проблемы, находящейся на стыке математической физики, механики деформируемого твердого тела и вычислительной математики. Традиционные подходы, основанные на классических решениях уравнений математической физики в фиксированных областях, оказываются неприменимыми или приводят к значительным погрешностям при описании реальных технических объектов, чьи геометрические параметры изменяются в процессе эксплуатации.

Актуальность темы продиктована двумя взаимосвязанными аспектами: научно-теоретическим и практико-ориентированным.

Научно-теоретический аспект заключается в преодолении методологического разрыва между классической теорией колебаний и нуждами практики. Как справедливо отмечено в диссертации, существующие методы в основном ограничены анализом волнового уравнения с граничными условиями первого рода. Однако современные технические системы требуют учета таких факторов, как изгибная жесткость (балки, канаты), сопротивление среды, вязкоупругие свойства материалов, а также сложные граничные условия, моделирующие взаимодействие с опорами, шкивами и другими элементами конструкций. Отсутствие универсального аппарата для учета этих факторов и, что особенно важно, для корректного определения собственных частот и форм колебаний в нестационарной области, является серьезным препятствием для развития данной области. Диссертационная работа В.Л. Литвинова направлена на создание именно такого универсального аппарата.

Практико-ориентированный аспект определяется широчайшей распространенностью объектов с движущимися границами в критически важных отраслях техники. К ним относятся грузоподъемные и транспортные системы (подъемные канаты шахтных подъемников, канаты лифтов, подвесных канатных дорог), обрабатывающие и производственные комплексы (лентопротяжные механизмы, ленточные пилы, гибкие звенья передач), энергетика и добыча полезных ископаемых (бурильные колонны, лопатки турбин, элементы контактной сети железных дорог), строительство и специальные сооружения и т.д.

Возникновение резонансных явлений в таких системах не допустимо. Поэтому разработка математических моделей и программных комплексов, позволяющих на стадии проектирования прогнозировать и исключать опасные режимы, имеет огромное народно-хозяйственное и социальное значение. Таким образом, вопросы моделирования колебаний и исследования резонансных свойств механических объектов с движущимися границами, рассмотренные в диссертации В.Л. Литвинова, являются, несомненно, актуальными.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Структура диссертации является логичной, последовательной, полностью соответствует поставленным цели и задачам и демонстрирует системный подход к решению сложной проблемы. Работа содержит 310 страниц и состоит из введения, семи глав, заключения, библиографического списка из 280 источников и четырех приложений.

Во введении не только четко сформулированы цель, задачи и положения, выносимые на защиту, но и приведена развернутая аргументация научной новизны и теоретической и практической значимости. Особо следует отметить глубокий анализ степени разработанности темы, который выявляет конкретные нерешенные проблемы, на решение которых направлено диссертационное исследование.

Первая глава представляет собой фундаментальный аналитический обзор. Автор не просто перечисляет существующие работы, а проводит их анализ, выявляя «узкие места» и ограничения современных подходов. Это создает прочный фундамент для обоснования необходимости разработки новых методов и моделей, представленных в последующих главах.

Вторая глава является методологическим стержнем работы. В данной главе приведено доказательство эквивалентности дифференциальной и интегро-

дифференциальной постановок задач в переменных во времени областях, что открывает возможность использования аппарата интегральных уравнений. Введено и строго обосновано понятие собственных функций и собственных чисел для нестационарной области, что позволяет оперировать привычными для теории колебаний категориями в принципиально новых условиях. Введен и корректно интерпретирован малый параметр, характеризующий медленность изменения длины объекта по отношению к скорости распространения упругой волны, что является физически обоснованным допущением для многих технических систем.

Третья глава посвящена развитию приближенных и асимптотических методов. Автор демонстрирует высокую математическую культуру, адаптируя и обобщая такие методы, как метод построения решений интегро-дифференциальных уравнений, асимптотические методы и метод Канторовича-Галеркина, для анализа резонансных свойств с учетом демпфирования, жесткости основания и вязкоупругости. Важным достоинством является оценка погрешности методов (до 5% при выполнении условия медленности), что определяет границы их применимости.

Четвертая глава выделяет частный, но практически чрезвычайно важный класс систем с равномерно движущимися границами. Разработанный метод преобразования переменных, сводящий задачу в частных производных к двухточечной краевой задаче для обыкновенного дифференциального уравнения, является эффективным аналитическим инструментом. Также в данной главе представлен анализ волновых процессов, в частности, эффекта Доплера и изменения энергии при отражении волны от движущейся границы.

Пятая глава представляет, на взгляд оппонента, наиболее новаторскую часть работы. Переход от линейных к нелинейным моделям является закономерным этапом в развитии теории. Используя вариационный принцип Гамильтона, автор строит математические модели, учитывающие геометрическую нелинейность, взаимодействие продольных и поперечных колебаний, а также сложный энергообмен между сегментами объекта; разделенными движущейся границей. Особого внимания заслуживает сравнительный анализ линейной и нелинейной моделей, наглядно демонстрирующий принципиальные ограничения линеаризованного подхода при больших амплитудах и малых длинах объекта. Разработанный в этой же главе численный метод для решения нелинейных задач является законченным и корректным алгоритмическим решением.

Шестая глава фокусируется на прикладной задаче – анализе резонансных явлений. Здесь формализованы и алгоритмизированы процедуры исследования двух ключевых явлений: установившегося резонанса и прохождения через резонанс. Получены аналитические выражения, позволяющие количественно оценить влияние демпфирующих сил и движения границ на амплитуду колебаний в резонансных режимах.

Седьмая глава является демонстрацией практической реализации всех предыдущих теоретических разработок. Созданный программный комплекс «ТВ–ANALYSIS–7» представляет собой целостную, протестированную среду для математического моделирования. Его архитектура, включающая модули для аналитических, приближенных и численных расчетов, а также интерактивной визуализации, заслуживает высокой оценки. Апробация комплекса на пятнадцати различных механических объектах доказывает его универсальность и эффективность. Приведенные графики и таблицы наглядно иллюстрируют новые качественные и количественные закономерности динамики исследуемых систем.

Заключение работы лаконично и систематизирует все полученные результаты, подчеркивая их соответствие поставленным задачам.

Автореферат отражает содержание диссертации. Оформление автореферата соответствует существующим требованиям.

3. Соответствие научной специальности

Диссертационная работа полностью соответствует научной специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а именно:

- пункту 1 «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений»;

- пункту 3 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно–ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента»;

- пункту 4 «Разработка новых математических методов и алгоритмов интерпретации натурного эксперимента на основе его математической модели»;

- пункту 5 «Разработка новых математических методов и алгоритмов валидации математических моделей объектов на основе данных натурного эксперимента или на основе анализа математических моделей».

4. Научная новизна исследования и полученных результатов

Научная новизна работы носит комплексный, системообразующий характер и подтверждается следующими конкретными результатами:

1. Впервые проведено обобщение и развитие фундаментальных приближенных и численно–аналитических методов, распространяющее их действие на широкий спектр задач динамики систем с подвижными границами применительно к анализу резонансных свойств одномерных объектов переменной длины, позволяющих учитывать действие на механическую систему демпфирующих сил, жёсткость основания и жёсткость на изгиб, вязкоупругость объекта, а также слабую нестационарность граничных условий, отличных от условий первого рода. Выполнена оценка погрешности приближенных методов.

2. Для моделирования колебаний систем с подвижными границами построены решения однородных интегро–дифференциальных уравнений описывающих движение объектов переменной длины и систем обыкновенных дифференциальных уравнений с изменяющимися параметрами при помощи асимптотических методов. Впервые получены выражения для амплитуд и фаз колебаний.

3. Произведена постановка новых нелинейных краевых задач о колебаниях объектов с движущимися границами в виде математических моделей, позволяющих учитывать большее число факторов, влияющих на динамический процесс. Впервые проведено сравнительное исследование линейных и нелинейных модельных подходов к описанию колебательных процессов в системах с подвижными границами, выявившее принципиальные ограничения линейных моделей.

4. Разработан оригинальный численный метод для решения нелинейных задач, моделирующих продольно–поперечные колебания систем с изменяющимися во времени граничными условиями.

5. Для моделирования резонансных эффектов систем с демпфированием впервые получены результаты, позволяющие количественно оценить влияние демпфирующих сил и движения границ на амплитуду колебаний, возникающих при прохождении через резонанс.

6. Впервые подробно исследованы колебания и резонансные характеристики пятнадцати механических объектов с движущимися границами, широко распространённых в технике. Используя разработанный программный комплекс проведен анализ новых качественных и количественных свойств разработанных

моделей, причём количественные характеристики представлены в виде графиков и таблиц.

5. Достоверность и обоснованность результатов и выводов

Достоверность научных положений, результатов и выводов диссертации не вызывает сомнений и обеспечивается совокупностью следующих факторов:

1. Корректность математического аппарата. В работе используется современный и адекватный задачам математический аппарат, включая теорию дифференциальных уравнений в частных производных, теорию интегральных уравнений, вариационное исчисление, асимптотические методы и методы численного анализа.

2. Верификация моделей. Проверка корректности численных методов подтверждается совпадением решений нелинейной и линейной моделей в области малых амплитуд, а также тестированием на модельных задачах с известными решениями.

3. Соответствие классическим решениям. В частных случаях, когда движение границ не учитывается или задачи допускают линеаризацию, полученные решения переходят в известные классические решения, что подтверждает их преемственность и корректность.

4. Широкая апробация. Основные результаты докладывались и получили положительную оценку на более чем 100 российских и международных конференциях, школах и семинарах.

5. Объем и качество публикаций. Результаты работы опубликованы в 102 научных работах, включая 20 статей в ведущих рецензируемых журналах из перечня ВАК и приравненных к ним, 3 монографии, 5 учебных пособий и 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Такой объем и уровень публикаций полностью соответствуют требованиям ВАК к докторским диссертациям.

6. Акты внедрения. Практическая значимость и достоверность результатов подтверждена актами внедрения в учебный процесс Самарского государственного технического университета и в опытно-конструкторскую работу крупных промышленных предприятий (ООО «СКТБ «Пластик», АО «Тяжмаш»).

6. Значимость результатов диссертации для развития отрасли науки

Значимость работы является многогранной и проявляется как в теоретическом, так и в практическом плане.

Теоретическая значимость заключается в существенном продвижении и обогащении методологии математического моделирования нестационарных механических систем. Разработанные методы и модели формируют новую, более мощную теоретическую базу для анализа динамики объектов с переменными геометрическими размерами. Работа вносит значительный вклад в такие разделы науки, как математическая физика, механика деформируемого твердого тела, теория колебаний и вычислительная математика.

Практическая значимость определяется созданием эффективного инструментария для решения критически важных инженерных задач. Разработанный программный комплекс «TB-ANALYSIS-7» позволяет: на стадии проектирования выявлять и исключать опасные резонансные режимы для широкого класса технических устройств; проводить оптимизацию параметров систем с целью повышения их надежности, долговечности и безопасности; сокращать сроки и стоимость разработки новых конструкций за счет замены натуральных экспериментов вычислительным моделированием; применять математическое моделирование и компьютерные технологии в учебном процессе для подготовки высококвалифицированных специалистов в области прикладной математики и механики.

Таким образом, диссертационное исследование В.Л. Литвинова не только вносит вклад в фундаментальную науку, но и имеет ярко выраженную прикладную направленность, результаты которой уже нашли применение в реальном секторе экономики и образовании.

7. Замечания и рекомендации

Несмотря на высокий уровень выполненной работы, можно сформулировать несколько замечаний и пожеланий, носящих рекомендательный характер и направленных на дальнейшее развитие представленных в диссертации исследований.

1. Представленные в работе приближенные и аналитические методы демонстрируют свою эффективность при исследовании резонансных свойств для случая равномерного движения границ. Непонятно, могут ли данные методы

использоваться при других законах движения границ. Желательно обозначить условия (например, на гладкость, монотонность, скорость изменения и т.д.), которым должен удовлетворять закон движения границы, чтобы методы сохраняли свою работоспособность.

2. В четвертой главе утверждается, что метод позволяет найти собственные частоты объекта. Однако в разделе 4.1.1 выкладки ограничиваются постановкой двухточечной краевой задачи (4.6), (4.7), а её решение отложено до 7-й главы. Это нарушает целостность изложения главы 4.

3. В тексте диссертации и в описании программного комплекса встречаются разночтения в наименовании одних и тех же физических коэффициентов. Также обращает на себя внимание использование термина «параметр» для размерной величины μ , характеризующей вязкоупругие свойства. Для соблюдения терминологической строгости целесообразно унифицировать названия и для размерных величин, подобных μ , использовать термин «коэффициент».

Отмеченные замечания ни в коей мере не умаляют достоинств диссертационной работы и не влияют на общую положительную оценку.

8. Заключение

Диссертационная работа Литвинова Владислава Львовича «Математическое моделирование и исследование резонансных свойств механических объектов с движущейся границей» представляет собой завершённое, фундаментальное научное исследование, в котором решена крупная и актуальная научная проблема, имеющая важное теоретическое и народно-хозяйственное значение для отрасли машиностроения. Работа выполнена на высоком научном и методическом уровне, отличается глубиной проработки, комплексностью подхода и практической ориентированностью полученных результатов.

Содержание диссертации, её научные положения и выводы в полной мере соответствуют паспорту научной специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым Положением о присуждении ученых степеней (Постановление правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 в ред. от 16.10.2024 № 1382) к докторским диссертациям, а её автор, Литвинов Владислав Львович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-

математических наук по специальности 1.2.2 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

доктор физико–математических наук,

доцент, профессор кафедры

дифференциальных уравнений

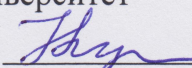
Федерального

государственного бюджетного

образовательного учреждения

высшего образования «Ярославский

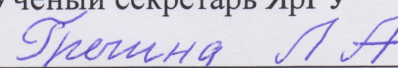
государственный университет


им. П.Г. Демидова»  Куликов А.Н.

«19» февраля 2026 г.

Подпись Куликова Анатолия Николаевича заверяю

Ученый секретарь ЯрГУ





Выходные данные организации:

Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение

высшего образования «Ярославский

государственный университет им. П.Г. Демидова»

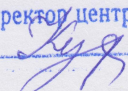
Адрес:

Россия, 150003, Ярославская область, г. Ярославль,

ул. Советская, д. 14

Телефон: 8(4852) 79-77-02

Адрес электронной почты: anat_kulikov@mail.ru

Подпись заверяю:
Заместитель начальника управления
директор центра кадровой политики
 Л.Н. Куфирина

