

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
о диссертации *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»

Оценка актуальности темы диссертации

Диссертация Литвинова В.Л. посвящена комплексному решению фундаментальной научной проблемы математического моделирования динамики одномерных механических систем с движущимися границами. Актуальность темы обусловлена широким распространением таких объектов в современных технических устройствах – от грузоподъемных механизмов и лифтовых систем до лентопротяжных механизмов, бурильных колонн и элементов робототехнических комплексов. Возрастающие требования к надежности, безопасности и эффективности технических систем диктуют необходимость разработки новых и совершенствования существующих методов их динамического анализа.

Особую значимость представляет решение фундаментальных научных проблем, связанных с корректной математической постановкой краевых задач для дифференциальных уравнений в частных производных и интегро–дифференциальных уравнений в областях с изменяющимися во времени границами. Существующий научный задел в этой области характеризуется существенными ограничениями – большинство известных решений относится к линейным моделям, не учитывающим комплексное взаимодействие различных физических факторов. В этой связи разработка нелинейных математических моделей, учитывающих взаимодействие продольных и поперечных колебаний, геометрическую нелинейность, вязкоупругие свойства материалов и демпфирующие характеристики, представляет собой важнейшее направление развития современной механики деформируемого твердого тела.

Возможность прогнозирования и предотвращения резонансных явлений в системах с движущимися границами имеет исключительное значение для обеспечения безопасной эксплуатации широкого класса технических устройств.

В связи с этим вопросы моделирования колебаний и исследования резонансных свойств механических объектов с движущимися границами и разработки математического аппарата для их исследования являются, несомненно, актуальными, а именно этим проблемам и посвящена оппонируемая диссертация.

Структура и краткое содержание диссертации

Диссертация представляет собой законченное научное исследование, отличающееся целостностью и логической завершенностью. Работа состоит из введения, семи глав, заключения, библиографического списка из 280 наименований и четырех приложений. Общий объем работы составляет 310 страниц, содержащих 38 рисунков и 24 таблицы.

Введение содержит развернутое обоснование актуальности исследования, четко сформулированные цель и задачи работы, комплекс положений, выносимых на защиту, а также подробное описание научной новизны, теоретической и практической значимости полученных результатов.

Первая глава представляет собой аналитический обзор современного состояния проблемы математического моделирования динамики систем с движущимися границами. Проведен критический анализ отечественных и зарубежных исследований, выявлены ключевые нерешенные проблемы и намечены перспективные направления исследований. Особого внимания заслуживает систематизация существующих подходов и четкое определение области для проведения собственных исследований.

Вторая глава содержит разработку теоретического фундамента исследования. Доказаны теоремы об эквивалентности дифференциальной и интегро–дифференциальной постановок задач динамики объектов переменной длины, а также близости решений интегро–дифференциального уравнения колебаний объектов постоянной длины и соответствующего уравнения колебаний объектов переменной длины. Существенным достижением является введение и строгое обоснование понятий «собственных функций» и «собственных чисел» для краевых задач в областях с изменяющимися границами, что представляет значительный теоретический интерес.

Третья глава посвящена разработке и обоснованию приближенного метода построения решений интегро–дифференциальных уравнений. Метод обобщен на широкий класс граничных условий, отличных от условий первого рода. Проведена комплексная оценка погрешности метода в зависимости от относительной скорости движения границ, показавшая его высокую эффективность при выполнении условия медленности изменения длины объекта. Метод Канторовича – Галеркина развит применительно к решению задач, описываемых уравнениями гиперболического типа, при исследовании резонансных свойств систем с демпфированием.

Четвертая глава содержит оригинальные результаты по разработке метода преобразования переменных для систем с равномерно движущимися границами. Также представлен анализ закономерностей отражения волн от движущихся границ, имеющий важное значение для понимания энергетических процессов в таких системах.

Пятая глава представляет значительный вклад в развитие нелинейной механики систем с движущимися границами. Разработаны принципиально новые математические модели продольно–поперечных колебаний, учитывающие комплекс взаимосвязанных факторов. Проведенный

сравнительный анализ линейных и нелинейных моделей выявил принципиальные ограничения линейного подхода. Разработан численный метод решения нелинейных задач, описывающих продольно–поперечные колебания объектов с движущимися границами.

Шестая глава содержит разработку методов анализа резонансных процессов. Предложены алгоритмы исследования установившегося резонанса и прохождения через резонанс, учитывающие влияние демпфирующих сил и движения границ. Получены аналитические выражения для количественной оценки амплитуд колебаний в резонансных режимах.

Седьмая глава описывает архитектуру и функциональные возможности программного комплекса «TB–ANALYSIS–7». Приведены результаты тестирования и верификации программного обеспечения, демонстрирующие его высокую эффективность для решения практических задач. Используя разработанный программный комплекс проведен анализ новых качественных и количественных свойств пятнадцати разработанных моделей, часто встречающихся в прикладных задачах.

В заключении обобщены и приведены достигнутые основные результаты, полученные в диссертации.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Соответствие научной специальности

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту научной специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» по следующим пунктам:

- пункт 1 «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений»;
- пункт 3 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно–ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента»;
- пункт 4 «Разработка новых математических методов и алгоритмов интерпретации натурального эксперимента на основе его математической модели»;
- пункт 5 «Разработка новых математических методов и алгоритмов валидации математических моделей объектов на основе данных натурального эксперимента или на основе анализа математических моделей».

Научная новизна исследования и полученных результатов

Все научные результаты, выносимые на защиту, характеризуются высокой степенью новизны и оригинальности. Новизна работы носит фундаментальный характер. В рамках диссертационного исследования разработан комплекс взаимосвязанных методов и подходов, существенно расширяющих возможности математического моделирования динамики систем с движущимися границами.

Центральным достижением работы является создание методологии исследования колебательных процессов в одномерных механических системах с подвижными границами. Предложенная концепция включает:

разработку новых математических моделей, учитывающих нелинейные эффекты и взаимодействие различных типов колебаний; создание аналитических, приближенных и численных методов решения соответствующих краевых задач; разработку алгоритмов анализа резонансных характеристик; построение специализированного программного обеспечения для проведения вычислительных экспериментов.

Особого внимания заслуживают следующие конкретные научные результаты:

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.

Практическая реализация теоретических результатов воплощена в создании программного комплекса «TB–ANALYSIS–7», прошедшего

успешную апробацию на реальных технических объектах. Имеется свидетельство о государственной регистрации данного программного комплекса в качестве программы для ЭВМ.

Обоснованность и достоверность научных результатов и выводов, изложенных в диссертации

Достоверность полученных научных результатов и обоснованность выводов обеспечивается комплексом факторов. Теоретические положения работы базируются на строгом использовании современного математического аппарата теории дифференциальных и интегро–дифференциальных уравнений, вариационных методов и асимптотических подходов.

Корректность разработанных методов подтверждена их тестированием на известных решениях в частных случаях, а также сравнением результатов, полученных различными методами. Проведена всесторонняя оценка погрешностей предлагаемых приближенных методов, показавшая их приемлемую точность для инженерных приложений.

Широкая апробация работы на российских и международных конференциях, включая ведущие научные форумы, свидетельствует о признании научным сообществом представленных результатов. Публикация основных положений работы в 20 статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК и приравненных к ним, включая такие авторитетные издания как «Известия РАН. Механика твердого тела», «Журнал вычислительной математики и математической физики», «Теоретическая и математическая физика», дополнительно подтверждает высокий научный уровень исследования. По результатам диссертации издано три рецензируемые монографии, получено два свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Результаты диссертации использованы в 5 учебных пособиях.

Диссертационное исследование выполнено самостоятельно. Соискатель лично является автором ключевых идей, методологии и основных результатов работы. Соавторство в публикациях не умаляет личного вклада диссертанта.

Значимость результатов диссертационных исследований для развития отрасли науки

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в существенном развитии математического аппарата для моделирования и анализа динамики систем с движущимися границами. Разработанные методы и модели вносят значительный вклад в теорию краевых задач для уравнений математической физики в нестационарных областях, расширяя возможности аналитического и численного исследования сложных динамических процессов. Разработанные нелинейные модели существенно углубляют понимание физических процессов, сопровождающих колебания в системах с подвижными границами.

Прикладная значимость работы проявляется в создании эффективного инструментария для решения практических задач машиностроения и других отраслей промышленности. Разработанный программный комплекс «ТВ–ANALYSIS–7» представляет собой законченное решение для инженерных расчетов динамики широкого класса технических объектов.

Внедрение результатов работы в учебный процесс Самарского государственного технического университета способствует повышению качества подготовки специалистов в области прикладной математики, механики и информатики. Использование разработок на предприятиях ООО «СКТБ «Пластик» и АО «Тяжмаш» подтверждает их практическую ценность для решения конкретных инженерных задач.

Замечания по работе

1. В четвертой главе раздел 4.2. стоит несколько особняком от основной темы о резонансных свойствах. Следовало бы более четко указать, как анализ энергетике отраженных волн дополняет понимание резонансных явлений в системах с движущимися границами.

2. В седьмой главе, содержащей описание применения программного комплекса к исследованию пятнадцати механических систем, отсутствует развернутое обоснование выбора именно этих объектов. Не в полной мере раскрыты критерии репрезентативности рассматриваемых систем для всего многообразия технических объектов с движущимися границами. Добавление соответствующего анализа усилило бы убедительность представленных результатов.

3. В программном комплексе физические параметры (сопротивление среды, вязкоупругость, жесткость) задаются в безразмерном виде, что соответствует математической постановке задач. Однако для большего удобства практического применения было бы полезно предусмотреть дополнительную возможность ввода этих коэффициентов в их исходном, размерном виде с автоматическим пересчетом в безразмерные величины по задаваемым пользователем характерным масштабам.

Указанные замечания носят частный характер и не затрагивают основных научных результатов диссертации. Они могут быть учтены автором при дальнейшем развитии исследований и подготовке публикаций.

Заключение

Оппонируемая диссертационная работа представляет собой крупное научное исследование, в котором на основе комплексного подхода решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение для отрасли машиностроения, а также фундаментальное и прикладное значение для развития математического моделирования в механике деформируемого твердого тела в части исследования колебаний и резонансных свойств одномерных механических объектов с движущимися границами.

Работа отличается теоретической глубиной и практической направленностью. Разработанные автором математические модели, аналитические, приближенные и численные методы, алгоритмы и программное обеспечение существенно расширяют возможности исследования динамики механических систем с движущимися границами.

Резюмируя, считаю, что диссертация «Математическое моделирование и исследование резонансных свойств механических объектов с движущейся границей» соответствует всем требованиям, предъявляемым, согласно пунктам 9–11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней»

(Постановление правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 в редакции от 16.10.2024 № 1382), к докторским диссертациям по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а ее автор, Литвинов Владислав Львович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по указанной специальности.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки.

Официальный оппонент:

Доктор физико–математических наук, профессор,
директор Института проблем машиностроения РАН (ИПМ РАН)
– филиала Федерального государственного бюджетного
научного учреждения «Федеральный исследовательский
центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова–
Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)

Ерофеев Владимир Иванович

24.02.2026

Подпись Ерофеева Владимира Ивановича заверяю:

Ученый секретарь ИПМ РАН,
к.т.н., доцент



Мотова Е.А.

Выходные данные организации:

Институт проблем машиностроения РАН (ИПМ РАН)
– филиал Федерального государственного бюджетного
научного учреждения «Федеральный исследовательский
центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова–
Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)

Адрес: Россия, 603024, Нижегородская область,
г. Нижний Новгород, ул. Белинского, д. 85

Телефон 8(831)432-03-00

Адрес электронной почты: erof.vi@yandex.ru