

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Вахтеровой Яны Андреевны «Идентификация нестационарных нагрузок и дефектов в упругих стержнях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела».

Основной целью диссертационной работы Вахтеровой Яны Андреевны является разработка математических постановок и методов решения новых нестационарных обратных задач о реконструкции сосредоточенных и распределённых нестационарных нагрузок, а также задач по регистрации наличия дефектов в упругих стержнях и определению их параметров. В настоящее время задачи такого рода приобретают все большую актуальность в теоретическом и в прикладном отношении. Обратные задачи относятся к некорректно поставленным – малым возмущениям исходных данных, могут соответствовать большие изменения решения. Исходные данные для задач такого рода, как правило, искажены, поскольку они определяются экспериментально. Поэтому необходимо использовать специальные методы решения, которые будут иметь приемлемую точность и для случая «зашумленности» исходных данных, выражающейся в их искажении вследствие случайной погрешности измерений и вычислительных преобразований. Стержневые элементы широко применяются в инженерных сооружениях различного назначения, в том числе, в авиационной и аэрокосмической отраслях промышленности, поскольку значительная часть конструкции летательных аппаратов выполнена из балочных и стержневых элементов, работающих в условиях нестационарных нагрузок. Это режимы взлета и посадки, выполнения различных маневров, а также различные внештатные ситуации.

Прямая нестационарная задача для упругого стержня состоит в определении решения, которое удовлетворяет заданному уравнению или

системе уравнений нестационарных колебаний в частных производных, а также заданным начальным и граничным условиям.

В обратных задачах уравнение нестационарных колебаний (его коэффициенты и/или правая часть) не заданы полностью, но зато имеется некоторая дополнительная информация, получаемая в ходе эксперимента или непосредственно в процессе эксплуатации изделия.

Нестационарные обратные задачи чрезвычайно актуальны и в настоящее время являются одними из наименее исследованных задач механики деформируемого твёрдого тела. Все предлагаемые задачи диссертационного исследования являются новыми, методы построения решений – оригинальны.

Предлагаемые постановки и методы решений нестационарных обратных задач могут послужить основой создания комплексов мониторинга конструкций неразрушающего контроля в реальном времени. Они позволят непосредственно во время эксплуатации следить и вовремя предотвращать возникновение и развитие повреждений, отслеживать различные структурные изменения, восстанавливать пространственно-временные законы воздействующих на конструкцию внешних нагрузок. В связи с бурным развитием ЭВМ, автоматизации и робототехники, задачи этого класса выходят на передовой край современной науки. *Поэтому, выбранное диссертантом направление научных исследований, несомненно, является актуальным.*

В части новизны следует отметить численно-аналитические решения обратных нестационарных задач о идентификации нагрузок и дефектов в упругом стержне. Эти важные задачи неразрушающего контроля решены впервые. Они имеют большое фундаментальное и прикладное значение, поскольку являются основой для организации мониторинга конструкций летательных аппаратов в режиме реального времени. В диссертации представлены постановки и получены решения *ряда новых*

нестационарных обратных задач для упругих стержней. В основе методов решения лежат найденные функции влияния, которые выступают в качестве ядер интегральных операторов разрешающих уравнений. Для построения решений используются методы последовательных приближений и механических квадратур в сочетании с быстрым преобразованием Фурье.

Достоверность представленных научных результатов работы основывается на исследовании сходимости предложенных методов в каждом конкретном случае, на использовании известных моделей динамики твёрдых деформируемых тел, а также на сравнении решений, полученных с помощью разных методов друг с другом и с известными опубликованными аналитическими и численно-аналитическими результатами других авторов в некоторых частных случаях. Кроме того, проведено исследование предложенных алгоритмов на устойчивость к малым изменениям входных данных.

В целом диссертация оставляет впечатление логически построенной, законченной научно-квалификационной работы. *Её содержание* разделяется *на введение*, в котором определены основные цели и задачи исследований, их актуальность, научная значимость и новизна, теоретическая и практическая ценность. Далее следует основное содержание работы, которое включает три главы. *Первая глава* посвящена аналитическому обзору научных работ, связанных с темой диссертационного исследования, приведены уравнения движения для стержней, а также математические постановки нестационарных обратных задач для стержней, включающие уравнения движения, начальные и граничные условия. Также описаны источники дополнительных данных, поступающих с измерительных устройств, что характерно для постановок обратных задач. Указан способ сведения математических постановок нестационарных обратных задач к системам разрешающих уравнений. *Во второй главе* построены нестационарные функции влияния для стержней.

Приведены постановки нестационарных задач о функциях влияния для упругого стержня и балки Тимошенко. Дано их решение и проведено исследование функций влияния. Решены прямые нестационарные задачи для стержней. Предложен и реализован аналитический алгоритм решения. **Третья глава** посвящена решению нестационарных обратных задач для стержней. Решены обратные геометрические задачи об определении дефектов в упругих стержнях, а также обратные нестационарные задачи о реконструкции нагрузок, воздействующих на стержень или балку. Решение геометрической обратной задачи основано на аппроксимации искомой функции–параметра кусочно–постоянной зависимостью, по пространственной координате. В результате задача сводится к системе нелинейных функциональных уравнений относительно искомым параметров дефекта. Решение задач о реконструкции нагрузок, базируется на методе функций влияния. С его помощью обратная задача сводится к решению системы интегральных уравнений типа Вольтера II–го рода по времени относительно искомой нагрузки (в случае, если она является сосредоточенной) или коэффициентов разложения нагрузки в ряд Фурье (в случае распределённой нагрузки). Для построения решения используется метод механических квадратур в сочетании с быстрым преобразованием Фурье.

Научные положения, выводы и рекомендации представляются обоснованными, непротиворечивыми и основываются на строгой математической постановке задач диссертационного исследования, выборе математических методов, адекватных поставленным целям и задачам исследования, исследовании сходимости полученных результатов и сравнении их с результатами других авторов, анализом публикаций ведущих исследователей в направлении данной проблемы.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 39-ти научных работах. В их число входит: 2 статьи в журналах из Перечня ВАК

РФ; 5 статей в журналах, цитируемых Scopus и Web of Science; 1 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 32 тезиса докладов в материалах Международных конференций, в том числе и на Международном симпозиуме «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г. Горшкова 2017 – 2022 гг.

Замечания.

Диссертационное исследование, несомненно, вносит значимый теоретический и практический вклад в развитие обратных нестационарных задач механики деформируемого твёрдого тела. Несмотря на полноту представленного материала, следует отметить и некоторые недостатки диссертации.

1. Обычно под ретроспективными обратными задачами понимаются задачи о восстановлении начальных условий по данным измерений. В диссертации под ретроспективными задачами автор понимает задачи о восстановлении нестационарной нагрузки, т.е. о реконструкции правых частей соответствующих уравнений, что не совсем корректно в плане общепринятой терминологии.
2. В разделе, посвященном идентификации дефектов в упругих стержнях используется простейшая модель дефекта на основе трёхступенчатого стержня. Полагаю, что не составило бы принципиальных сложностей рассмотреть более точные модели на основе многоступенчатого стержня. Однако автором в работе это не сделано.
3. В работе для описания движения балки использована модель С.П. Тимошенко, однако было бы интересно рассмотреть решения прямых и обратных задач в сравнении с другими моделями балок, например, в сравнении с более простой моделью – балкой Бернулли-Эйлера.

Отмеченные замечания являются дискуссионными и не умаляют общую положительную оценку научной работы автора. Диссертация

представляет собой законченное научное исследование, в котором построены постановки новых нестационарных обратных задач, разработаны оригинальные методы и подходы к их решению. Автореферат достаточно полно и правильно отражает основное содержание работы. Совокупность теоретических и прикладных положений, разработанных в диссертации, имеет важное значение для развития нестационарных обратных задач механики деформируемого твёрдого тела. Диссертация отвечает требованиям, установленным постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. «О порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Вахтерова Яна Андреевна, несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела».

Кандидат технических наук, профессор,
профессор кафедры робототехники,
мехатроники, динамики и прочности машин
(РМДиПМ) – федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования "Национальный
исследовательский университет "МЭИ".

**Хроматов Василий
Ефимович**

Хроматов
27.06.2023

Специальность 01.02.06 – Динамика,
прочность машин, приборов и аппаратуры.

Адрес: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14, стр.1

Телефон: +7 (916) 187-78-91.

E-mail: KhromatovVY@mpei.ru.

Подпись Хроматова Василий Ефимовича

удостоверяю

(фамилия имя отчество оппонента подности)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА

УПРАВЛЕНИЯ ПО ВЗАИМНОМУ ПЕРЕКЛАДНОМУ

(должность)

Л.И. ПОЛЕВАЯ

М.П.

Полевая Л.И.

(Фамилия И.О.)

С отзывом ознакомлена
03.07.2023

