

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата технических наук Хомченко Антона Васильевича

на диссертацию Царева Романа Олеговича

на тему «Нелокальная во времени модель динамического деформирования стержневых систем», представленную на соискание ученой степени кандидата

технических наук по специальности

1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела

1. Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Царева Р. О. посвящена разработке нелокальной во времени модели динамического поведения стержневых систем, элементы которых выполнены из композитных материалов. Такие материалы обладают рядом преимуществ, таких как: относительно небольшой удельный вес, высокая коррозионная стойкость, возможность адаптации их свойств под конкретные задачи. По этим причинам конструкции из композитных материалов находят все более широкое применение в различных промышленных отраслях, в связи с чем, задачи динамического анализа таких конструкций представляют значительный научный и прикладной интерес. При этом на практике часто возникают задачи о колебаниях систем, состоящих из большого количества элементов, что осложняет применение аналитических подходов, а также нередко делает невозможным использование детализированных трёхмерных конечно-элементных моделей. Поэтому, решаемая соискателем задача разработки моделей меньшей размерности, позволяющих без значительной потери точности учитывать особенности деформирования композитных материалов, несомненно, является актуальной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Основные положения диссертации достаточно обоснованы. Они опираются на подробный анализ подходов к описанию динамического поведения конструктивных систем и к редукции размерности задач механики деформируемого твердого тела.

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата технических наук Хомченко Антона Васильевича

на диссертацию Царева Романа Олеговича

на тему «Нелокальная во времени модель динамического деформирования стержневых систем», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела

1. Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Царева Р. О. посвящена разработке нелокальной во времени модели динамического поведения стержневых систем, элементы которых выполнены из композитных материалов. Такие материалы обладают рядом преимуществ, таких как: относительно небольшой удельный вес, высокая коррозионная стойкость, возможность адаптации их свойств под конкретные задачи. По этим причинам конструкции из композитных материалов находят все более широкое применение в различных промышленных отраслях, в связи с чем, задачи динамического анализа таких конструкций представляют значительный научный и прикладной интерес. При этом на практике часто возникают задачи о колебаниях систем, состоящих из большого количества элементов, что осложняет применение аналитических подходов, а также нередко делает невозможным использование детализированных трёхмерных конечно-элементных моделей. Поэтому, решаемая соискателем задача разработки моделей меньшей размерности, позволяющих без значительной потери точности учитывать особенности деформирования композитных материалов, несомненно, является актуальной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Основные положения диссертации достаточно обоснованы. Они опираются на подробный анализ подходов к описанию динамического поведения конструктивных систем и к редукции размерности задач механики деформируемого твердого тела.

Соискатель корректно формулирует постановку задачи, и обоснованно использует математические методы для её решения. Основные выводы и рекомендации соответствуют проведённым исследованиям и полученным результатам.

По результатам диссертационного исследования опубликованы 7 работ, из которых 3 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Кроме того, получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

3. Степень достоверности и новизна полученных результатов

Достоверность научных результатов обеспечивается достаточно подробным анализом литературных источников, корректным и продуманным применением численных методов, использованием верифицированного программного обеспечения, и выполнением лабораторных испытаний с помощью поверенного оборудования.

Научная новизна работы заключается в следующем: теоретически обоснованно и экспериментально доказано, что разработанная в диссертации модель может быть использована для описания динамического поведения конструктивных элементов, выполненных из композитных материалов, продемонстрирован характер влияния изменения постоянной нелокальной модели на результаты численного моделирования, а также показано, что модель может быть использована для моделирования частотно независимого внутреннего демпфирования.

4. Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что автором на основании предположения о нелокальности упругих свойств материала во времени разработана модель, применимая для описания динамического деформирования элементов и систем, выполненных из композитных материалов.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанная автором модель интегрирована в алгоритм метода конечных элементов, что делает её применимой для решения практических задач, а также обеспечивает возможность её внедрения в расчетные комплексы.

5. Оценка структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 148 наименований и 3 приложений, изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 58 рисунков, 6 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, приведены сведения о степени её разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, определены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, а также их достоверность, методология исследования, приведены положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации результатов исследования.

Первая глава представляет собой аналитический обзор литературных источников. Первая часть обзора посвящена задачам сокращения размерности математических моделей физических объектов. Отмечается, что задача о приведении трехмерных моделей твердых тел к моделям меньшей размерности, не имеет единственного решения. Также в первой главе приведен обзор моделей диссипации энергии при колебаниях механических систем. Несмотря на значительное количество различных подходов к описанию этого процесса, до сих пор не существует единой модели одновременно физически обоснованной и удобной для описания внутреннего трения на всем диапазоне частот. Третья часть обзора посвящена нелокальным моделям. В ней отмечается, что нелокальные модели могут быть использованы для описания динамического поведения ортотропных материалов. В конце первой главы выполнена постановка задачи исследования и приведены определяющие соотношения рассматриваемой в диссертации нелокальной модели.

Вторая глава содержит вывод уравнения движения в конечно-элементной постановке для нелокальной во времени модели динамического деформирования. Вывод выполнялся через принцип возможных перемещений. Автор грамотно и последовательно привел уравнение движения с учетом введенных им определяющих соотношений к матричной форме. При выводе матриц автор отмечает, что полученные матрицы имеют стандартный вид. Уравнение движения в конечно-элементной постановке для нелокальной во времени модели было решено по

неявной схеме (по методу Ньюмарка). С использованием построенной модели решены задачи о колебаниях изгибаемой балки и П-образной рамы. Была проведена оценка влияния постоянной нелокальной модели на результаты численного моделирования. Показано, что приближение модели к локальной приводит к увеличению демпфирования в системе. Также показано, что после завершения колебательного процесса прогиб сохраняется на уровне, соответствующем статическому прогибу балки при отсутствии ползучести материала.

Третья глава посвящена разработке методики калибровки нелокальной во времени модели упругих свойств материала. В основе методики калибровки соискатель использовал метод наименьших квадратов в комбинации с методом золотого сечения. Предложенная методика отрабатывалась на результатах вычислительных экспериментов, в рамках которых рассматривались композитные балки различной длины, собранные из трехмерных твердотельных конечных элементов, и рама, смоделированная аналогичным образом.

По результатам анализа полученных данных автор сделал несколько выводов. Во-первых, автором было установлено, что существует устойчивая взаимосвязь между изменением коэффициента вязкости и введенной соискателем постоянной нелокальной модели. Данная взаимосвязь позволяет вычислять постоянную без необходимости каждый раз заново определять её по результатам экспериментов. Во-вторых, было показано, что при частотно независимом внутреннем демпфировании постоянная модели будет сохраняться неизменной. Кроме того, было продемонстрировано, что постоянная нелокальной модели является характеристикой материала.

В четвертой главе автор проводит валидацию модели на основании результатов лабораторных экспериментов. В начале главы приведено описание проведенных лабораторных экспериментов, в которых рассматривались балки из цементных композитов с различными заполнителями и при различных закреплениях. Далее автор проводит анализ полученных экспериментальных данных, на основании которых в дальнейшем была проведена калибровка нелокальной во времени модели. Далее приводится сравнение результатов

моделирования с учетом нелокальности во времени и без учета нелокальности. Показано, что результаты численного моделирования с использованием откалиброванной нелокальной во времени модели лучше согласуются с результатами экспериментов, чем классические локальные модели. Этот вывод дополнительно верифицируется экспериментами при другом динамическом нагружении. На основании представленных результатов автором подтверждается возможность применения разработанной модели на практике.

6. Соответствие автореферата диссертации её содержанию

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и раскрывает все основные результаты работы.

Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М.: Стандартинформ. – 2012.

7. Замечания по диссертационной работе

По диссертации имеются следующие замечания:

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 разностных ядер.

2. Определяющее соотношение нелокальной модели представляет собой модификацию вязкоупругой 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 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 Δt .

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

Диссертация полностью соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», по пунктам 10, 11 и 14, а именно:

- диссертационная работа представляет собой завершённое научно-квалификационное исследование, характеризующееся логической целостностью и содержащее результаты, полученные соискателем самостоятельно, что соответствует требованиям пункта 10 Положения о присуждении учёных степеней;

- основные научные результаты диссертации прошли необходимую апробацию и опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, в соответствии с требованиями пункта 11 Положения о присуждении учёных степеней;

- диссертация оформлена в соответствии с установленными требованиями: приведены ссылки на используемые литературные источники, результаты других исследователей и заимствованные материалы, что соответствует пункту 14 Положения о присуждении учёных степеней.

8. Заключение

Диссертация Царева Романа Олеговича на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи о колебаниях стрержневых элементов при учёте нелокальных во времени упругих свойств материала, имеющей значение для развития механики деформируемого твёрдого тела, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Царев Роман Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела.

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук,
Начальник отдела нагрузок и
аэроупругости управления прочности
ООО «АУРУС-АЭРО»


20.05.26

А. В. Хомченко

Научная специальность, по которой защищена диссертация:

1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Подпись Хомченко Антона Васильевича удостоверяю:

Генеральный директор
ООО «АУРУС-АЭРО»



А. В. Степин

Полное наименование организации:

Общество с ограниченной ответственностью «АУРУС-АЭРО».

Адрес места работы: 125315, г. Москва, Ленинградский просп., 72, корп. 3.

Телефон: нет. E-mail: office@aurus-aero.ru