

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Вешкина Максима Сергеевича
на тему **«Расчёт и оптимизация упругих стержневых систем
при импульсном нагружении»**, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.1.9. – Строительная механика.

Нестационарные внешние воздействия, которым подвержены различные сооружения и строительные конструкции, особенно высотные, требуют обязательной оценки допустимых перемещений в условиях длительной эксплуатации. Неточность таких оценок, как нам известно, приводит к преждевременным их разрушениям. Именно этому и посвящена данная работа. То есть – решению задач расчёта колебаний строений при нестационарных, импульсных, воздействиях применительно к стержневым конструкциям, наиболее распространённым в строительном деле.

Значимым результатом работы является комплексность поставленных и решённых задач:

- очерчена проблема динамического расчёта нагруженности строительных конструкций, включающая учёт внутреннего трения (демпфирующих характеристик) входящих и их состав элементов;
- применена обобщённая модель, учитывающая внутренне трение в различных материалах, составляющих элементы той или иной конструкции, модифицированная для такого случая;
- проведены испытания модельных стержневых систем, имитирующие их нагруженность при импульсных воздействиях, подобных эксплуатационным, и получены динамические отклики этих систем в различном конструктивном исполнении;
- результатом работы является программный модуль для динамического расчёта и оптимизации стержневых конструкций, испытывающих нестационарные воздействия, с эффективным алгоритмом вычислений.

Результат динамического воздействия на конструкции различного назначения зависит помимо распределения масс и жёсткости составляющих её элементов ещё и от их демпфирующих свойств. Неупругость, свойственная любому материалу, имеет различную природу, а в составной конструкции к этому добавляются ещё и неупругие характеристики соединений её элементов. Поэтому логичен сделанный в работе подход в виде представления неупругих свойств составной конструкции обобщённой моделью демпфирования, имитирующей это разнообразие, ибо строгий расчёт был бы чрезвычайно трудоёмким.

Эксперименты, проведённые со стержнями из разных материалов, включая варианты их соединения, иллюстрируют приемлемость используемой обобщённой модели демпфирования. Оценки погрешностей, проиллюстрированные для трёх форм колебаний, вполне допустимы для такого рода стержневых систем, хотя зависимость погрешностей и их разброса от форм колебаний (распределения амплитуд напряжений) свидетельствует, по-видимому, об амплитудной зависимости декремента колебаний и компоновки стержней из различных материалов.

Результаты работы доведены до практического использования в виде расчётного модуля, на который получено свидетельство о государственной регистрации.

Приведён ряд решений тестовых задач, использующих разработанный модуль, и описан алгоритм оптимизации процесса вычислений, усовершенствованный автором. Работа представляет собой законченный этап исследований, логически выстроенный и реализованный для решения практических задач.

Замечания по представленной работе, изложенной в автореферате, следующие.

1. Исходя из содержания представленной работы, её правильнее было бы назвать «Расчёт и оптимизация **неупругих** стержневых систем при импульсном нагружении», так как упругие системы в природе не встречаются.
2. В любом твёрдом теле при малых амплитудах нагружения всегда присутствует релаксационный фон внутреннего трения, характеризующийся постоянным коэффициентом вязкости (демпфирования, поглощения). Самая простая модель, описывающая этот тип неупругого поведения материала, – модель стандартного неупругого тела¹. Если же рассматривается процесс колебаний системы с таким типом неупругости, то дифференциальное уравнение затухающих колебаний имеет третий порядок², а его решение содержит дополнительное слагаемое вида $C_1 \exp(-nt)$, описывающее нестационарный процесс колебаний в начальный момент времени. То есть, вначале колебания будут несимметричными и негармоническими.

¹ Новик А., Берри Б. Релаксационные явления в кристаллах / Пер. с англ. под ред. Э. М. Нагорного и Я. М. Сойфера. – М.: Атомиздат, 1975. – 472 с.

² Петров М.Г. Прогнозирование долговечности конструкций при случайных колебаниях с учётом демпфирования материала // Аэродинамика и прочность конструкций летательных аппаратов: Труды Всероссийской научно-технической конференции по аэродинамике летательных аппаратов и прочности авиационных конструкций (17–19 июня 2008 г., Новосибирск). – Новосибирск: СибНИА, 2009. – С. 202–209.

При импульсном воздействии нестационарность демпфирования в начальный момент будет играть заметную роль. Это, по-видимому, и присутствует на рис. 4, б автореферата, где в начале процесса колебаний отклонения расчёта от показаний тензодатчика подобны случаю расчёта без учёта внутреннего трения, хотя и несколько меньше (рис. 4, а). Поэтому следовало бы отметить, что использованная обобщённая модель не учитывает нестационарность демпфирования в начальный момент времени при импульсных воздействиях. Ведь в эксплуатации мы во многих случаях имеем дело с непрерывным потоком нестационарных воздействий.

3. В работе приведены экспериментальные данные для стержней из алюминия и органического стекла. Каждый из этих материалов имеет свою амплитудную зависимость демпфирования, которая связана с появлением в них неупругости гистерезисного типа³. В алюминиевых сплавах гистерезисный тип неупругости обнаруживается при амплитудах порядка 10 МПа, а при амплитудах около 40 МПа начинает интенсивно нарастать, в органическом стекле – при амплитудах около 50 МПа. В более прочных углеродистых сталях без специальной термообработки он появляется при амплитудах 140–200 МПа, а в термообработанных – при 300 МПа и более. Этот тип неупругости возникает в результате появления в материале локальных пластических деформаций и также имеет период неустановившегося демпфирования. Следовало бы провести измерения неупругости для каждого материала и стыкового соединения стержней, проанализировать их амплитудную зависимость и сопоставить с рассматриваемой моделью неупругого деформирования, показав тем самым приемлемость обобщённой модели и границы её применения.
4. Следует писать декремент колебаний, а не затухания, так как слово декремент уже означает убывание.

Несмотря на высказанные замечания, следует отметить, что достаточный объём проведённых экспериментов и расчётов, основанный на предложенной методологии учёта демпфирующих свойств конструкций и их оптимизации с эффективным алгоритмом подбора варьируемых параметров, являются ценным научным и практическим результатом работы и демонстрируют понимание автором существа проблемы. Намечен также путь дальнейших исследований для расширения области использования разработанного подхода.

³ Петров М.Г. Прочность и долговечность элементов конструкций: подход на основе моделей материала как физической среды. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2015. – 463 с.

Итак, представленная работа представляет правильно спланированный и последовательно проведённый цикл исследовательских и расчётных работ, решающих в комплексе методическую, научную и научно-практическую части поставленных задач, которые имеют существенное значение для практики расчётов динамически нагружаемых конструкций и их оптимизации на стадии проектирования. Достаточное количество публикаций (в соавторстве) входят в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, а также присутствуют в международных базах данных. Диссертационная работа по своему содержанию, научной направленности, объёму выполненной работы, достоверности результатов, по объёму решённых задач и их актуальности соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и п. 9 Положения о присуждении учёных степеней. Вешкин Максим Сергеевич заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. – Строительная механика.

Настоящим даю согласие на автоматизированную обработку моих персональных данных в документах, связанных с работой диссертационного совета.

Петров Марк Григорьевич,
ведущий научный сотрудник
Федеральное автономное учреждение
«Сибирский научно-исследовательский институт авиации
имени С. А. Чаплыгина» (ФАУ «СибНИА им. С.А. Чаплыгина»)
кандидат технических наук
специальность 05.07.03 – Прочность летательных аппаратов
630051, г. Новосибирск, ул. Ползунова, 21
Тел. (383) 278-71-31, e-mail: mark-st@ngs.ru

М. Г. Петров

Личную подпись М. Г. Петрова удостоверяю

Главный инженер ФАУ «СибНИА им. С. А. Чаплыгина»


 В. А. Лубышев