

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента  
Дмитриевой Татьяны Львовны  
на диссертационную работу Вешкина Максима Сергеевича «Расчёт и оптимизация упругих стержневых систем при импульсном нагружении», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. – «Строительная механика»

Последние десятилетие отмечено тенденций в сторону возведения высотных объектов с применением облегченных конструкционных материалов, обладающих повышенной деформативностью. Такие объекты не стали исключением и для районов, где имеют место природные нагрузки динамического характера, среди которых, прежде всего, сейсмические, ветровые, действие цунами и т.п., которые моделируются как нестационарные импульсные. При аварийных и чрезвычайных ситуациях имеют место техногенные воздействия: соударения конструкций, ударные волны от взрывов, прогрессирующие разрушения и т.д., которые также моделируются как импульсные. Построение адекватных расчетных моделей при проектировании подобных объектов с последующим анализом их напряженно-деформированного состояния является, безусловно, важной и достаточно сложной проблемой. Этим обуславливается актуальность темы исследований оппонируемой диссертационной работы.

Здесь же рассмотрена еще одна востребованная задача, связанная с поиском оптимальных проектных решений в стержневых системах, состоящих из различных материалов и работающих в условиях импульсных воздействий, на основании исследования которой могут быть получены важные рекомендации о рациональном распределении массы и жесткостных параметров в этих системах.

Таким образом, **цель исследования** поставлена как развитие методов динамического расчёта и методов оптимизации стержневых систем при импульсных воздействиях.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие **научные задачи**:

- Анализ современного состояния исследуемой тематики.
- Модификация учёта внутреннего трения в стержневых системах, включающих элементы из различных материалов, и разработка на этой основе алгоритма динамического расчёта на свободные и вынужденные неустановившиеся колебания.



– Программная реализация модуля динамического расчёта на основе разработанного алгоритма и его экспериментальная верификация.

– Совершенствование алгоритмов оптимизации стержневых систем, подверженных импульсным воздействиям, с использованием метода декомпозиции пространства варьируемых параметров путем направленного обобщения параметров сечений и дополнительных масс.

Отсюда вытекает **научная новизна работы**, которая состоит в достаточно выверенном сочетании алгоритмов, построенных на уточненной модели динамического анализа стержневых систем при импульсных воздействиях и методов многопараметрической оптимизации с использованием приема декомпозиции пространства варьируемых параметров.

**Общая характеристика работы.** Рецензируемая диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и 3 приложений. Диссертация содержит 123 страницы текста, 38 рисунков и 24 таблицы и библиографический список из 114 наименований.

*Во введении* обосновывается актуальность научных исследований, изложенных в диссертации, определяется степень ее разработанности, формулируется цель и задачи, излагается научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, отражены основные положения, выносимые на защиту, представлены сведения об апробации результатов исследований.

*В первой главе* выполнен анализ исследований, посвящённых динамическим расчётам, где основное внимание уделено теории и моделированию внутреннего трения. Также проведен обзор научных разработок в области оптимизации динамически нагруженных систем. Как справедливо отмечает автор, исследования по оптимизации ограничивались рассмотрением гармонических нагрузок или проводились в отношении частотных характеристик и для малоэлементных систем. Проблема же оптимизации сложных многоэлементных стержневых систем при импульсных воздействиях практически не исследована. В результате анализа обоснована актуальность, цель и задачи исследования.

*Во второй главе* рассмотрена задача динамического расчёта на импульсное воздействие упругих стержневых систем с дискретизацией степеней свободы на основе дискретно-континуального подхода. При построении системы дифференциальных уравнений свободных и неустановившихся вынужденных колебаний принята модель внутреннего трения Е.С. Сорокина. Такой подход



представляется целесообразным с учетом того, что данная модель предполагает частотную независимость логарифмического декремента затухания колебаний и это подтверждается опытными данными. Приведено численное тестирование результатов динамического расчёта с использованием аппроксимации протяжённых импульсных нагрузок, предложенных автором, на основе сравнения их с результатами аналогичного расчёта при аппроксимации нагрузок множеством мгновенных импульсов. Проверки показали высокое совпадение результатов расчёта при различных способах аппроксимации импульсных нагрузок.

*В третьей* главе описаны эксперименты, проведённые автором с целью проверки достоверности разработанных алгоритмов динамического расчёта и представлены их результаты

*Первая* серия экспериментов со стальной шарнирно-опёртой балкой показала необходимость обязательного учёта внутреннего трения в расчётах на импульсные воздействия, т.к. этим достигалось высокое количественное и качественное совпадение результатов расчётных и экспериментальных данных. *Вторая* серия экспериментов предполагала проверки предложенной методики учёта внутреннего трения в неоднородных стержневых системах. Для системы, состоящей из двух последовательно соединённых элементов, по логарифмическим декрементам затухания на разных собственных частотах определялись значения «эквивалентного» коэффициента внутреннего трения и сравнивались с аналогичными значениями, полученными при расчёте по предложенной методике. Сравнение показало высокое совпадение результатов, полученных из расчёта с результатами, полученными в ходе экспериментов.

*В четвертой* главе приведен и апробирован алгоритм оптимизации упругих стержневых систем при импульсных воздействиях. Задача поставлена в форме нелинейного программирования, где в качестве функции цели выступает объем конструкции. Для формирования задачи на безусловный экстремум использована функция штрафа, которая минимизируется методом Нелдера-Мида. Для снижения трудоемкости в решении многопараметрических задач оптимизации применен метод декомпозиции пространства варьируемых параметров исходной задачи, разработанный профессором Г.И. Гребенюком (НГАСУ). Автором диссертации предложена модификация этого метода и его развитие с учётом особенностей НДС динамически нагруженной системы. Апробация предложенной методики выполнена на нескольких примерах. В первых примерах представлен консольный стержень, в котором варьируются



параметры сечения. Анализируются оптимальные проекты различных расчетных схем при разных вариантах приложения нагрузок и дискретизации масс. Делается вывод о влиянии параметров расчетных схем на НДС системы и величину объема. В следующем разделе главы рассмотрена оптимизация несущей части реального строительного объекта, а именно оптимизация плоской двухпролётной пятиэтажной рамы с нагрузками, близкими к реальными. В качестве функции цели использован также расход материала. Требования по прочности и жёсткости формализованы в виде функций ограничений. Дается сравнительный анализ оптимизационных расчетов при нескольких вариантах унификации элементов по группам. Для оценки эффективности предложенной методики выполнено сравнение числа динамических перерасчётов системы с использованием и без использования декомпозиции в процессе поиска оптимального решения. Показано, что использование декомпозиции практически на 2 порядка уменьшает число перерасчетов, что безусловно сказывается на функциональности алгоритма.

Оценивая работу **в целом**, хотелось бы отметить высокий научный уровень, объём проведенных исследований и достаточно проработанный анализ полученных результатов.

**Личный вклад автора заключается:** в разработке и программной реализации алгоритма расчёта стержневых систем с конечным числом степеней свободы с учётом внутреннего трения на свободные и вынужденные колебания с использованием модели внутреннего трения материала, предложенной Е.С. Сорокиным, а также методики учёта внутреннего трения для неоднородных стержневых систем; экспериментальном обосновании методики учёта внутреннего демпфирования для неоднородных стержневых систем; проведении расчётов с использованием разработанного программного модуля; программной реализации управляющей программы поиска оптимального решения с использованием модифицированного метода декомпозиции пространства варьируемых параметров; формировании и решении задач оптимизации стержневых систем при импульсном воздействии.

**Практическая значимость работы состоит** в разработке программных комплексов, реализующих предложенные методы и алгоритмы; в постановке и проведении экспериментальной проверки результатов, полученных с использованием разработанных программных комплексов; разработке программ обработки сигналов динамических откликов полученных в ходе эксперимен-



тов; в получении достаточно большого объема данных при решении модельных задач оптимизации, позволивший автору провести их систематизацию и анализ.

**По диссертации отмечены следующие вопросы и замечания:**

1. Примеры в разделы 4.2.2. обозначены как *тестовые*. Вопрос: на основании чего проводилось тестирование? Есть ли известные решения, с которыми можно сравнивать полученные результаты?

2. В этих же задачах сформулирована целевая функция, как минимум объема, но нет информации о наличии ограничений, без которых целевая функция будет стремиться к нулю.

3. Задаются ли в рассмотренных примерах параметрические ограничения на область изменения варьируемых параметров, без которых часть параметров может обнулиться или беспредельно возрасти?

4. Выполнялась ли верификация динамических расчётов с использованием промышленных расчётных комплексов?

5. В примерах задач оптимизации (глава 4) не указано количество учитываемых собственных форм при динамическом расчёте.

6. Для большей наглядности принятого оптимизатора задачи, хотелось бы видеть пусть достаточно простой математический пример его реализации (например, в среде MathCAD).

Замечания не снижают общую положительную оценку работы. Основные результаты диссертационных исследований достаточно полно представлены в 7-ти публикациях в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ, в публикации, индексируемой в международной базе цитирования SCOPUS и Web of Science, а также доложены, обсуждены и получили одобрение на Всероссийских конференциях и Международном симпозиуме. Программные разработки подтверждены свидетельством государственной регистрации программ для ЭВМ.

Считаю, что диссертация Вешкина Максима Сергеевича «Расчёт и оптимизация упругих стержневых систем при импульсном нагружении» соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней, утвержденного Правительством РФ от 24 сентября 2013 г., № 842, в действующей редакции, а ее автор заслуживает присуждения ученой 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.

**Официальный оппонент,**

доктор технических наук по специальности 05.13.18 –

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Заведующий кафедрой меха-

ники и сопротивления материалов Иркутского национального исследовательского технического универси-

тета

Дмитриева  
Татьяна  
Львовна

Сведения об организации: ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Адрес : 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Контактные телефоны: тел/факс 8 (3952)405-100, 405-009, 405- 000

Адрес электронной почты : e-mail: [info@istu.edu](mailto:info@istu.edu)





Ведущий специалист по  
управлению персоналом

*А. М. Мухоморова*