

## ОТЗЫВ

официального оппонента, д.т.н., профессора Москвитина Г. В. по диссертации Роффе Александра Ильича на тему: «Математическое моделирование процессов нелинейного деформирования составных конструкций каркасного типа при комбинированных воздействиях», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела

Диссертация посвящена актуальной, имеющей важное практическое значение, проблеме совершенствования методов расчета составных конструкций каркасного типа при статических и динамических нагружениях с учетом их нелинейного деформирования, а также физико-механических особенностей механики деформируемого твердого тела. Исследования по данной проблеме автор сосредоточил на разработке адекватных математических моделей, развитии численных методов решения нелинейных задач механики деформируемого твердого тела и решению ряда прикладных задач деформирования каркасных конструкций в новой постановке.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов (заключения), списка используемой литературы, приложения и содержит 117 стр. машинописного текста, 49 рисунков и 7 таблиц. В списке литературы 110 наименований.

**Введение** содержит описание проблематики вопроса, цель работы и краткое изложение диссертационной работы.

**Первая глава** посвящена анализу существующих методов решения задач статики и динамики несущих элементов машиностроительных и строительных конструкций. Разработаны и развиты математические модели, позволяющие исследовать процессы деформирования конструкций на основе гипотез Тимошенко. Автором разработана математическая модель деформирования железобетонных элементов при различных вариантах армирования, как при упругой, так и при упруго-пластичной работе арматуры, учитывающая возможности возникновения трещин в бетоне. Сформированы варианты сопряжения «монолитное соединение» и «сборная конструкция». Разработана новая математическая модель для конст-

рукции на амортизированном фундаменте, с учетом воздействия горизонтальной компоненты сейсмической волны.

**Во второй главе,** используя метод конечных разностей, диссертант, осуществляет дискретизацию по пространственным и временным признакам для определения состояния армирующих элементов и бетона. Вариационно-разностный метод использован для построения аналогов уравнений равновесия и движения элементов конструкции. Разработана дискретная модель для конструкции на амортизированном фундаменте и процедура аппроксимации сейсмограммы с помощью сплайн-интерполяции. Предложена к рассмотрению методика, основанная на аппроксимации параметров сейсмических волн набором тригонометрических функций.

**Третья глава** диссертации посвящена численным методам решения задач статического и динамического нагружения составных конструкций каркасного типа. Численное решение статических задач построено путем адаптации квазидинамической формы метода установления для решения сеточных уравнений. При использовании метода установления для решения стационарных задач построен соответствующий стационарный процесс, установление которого с течением времени в равновесное состояние и определяет решение исходной стационарной задачи. Для численного решения динамических задач элементов составных конструкций используется двухслойная разностная схема второго порядка аппроксимации. Все это позволило автору получить единую эффективную схему для исследования особенностей деформирования составных конструкций при различных видах нагружения.

Автором построены численные решения статических и динамических задач для составных конструкций на амортизированном фундаменте и предложена методика оценки оптимальных значений параметров вязко-упругих амортизирующих элементов.

**В четвертой главе** диссертантом приведены результаты проведенных им исследований нелинейных процессов деформирования составных конструкций каркасного типа при статических и динамических воздействиях. На основе разра-



ботанных автором нелинейных математических моделей и прямых методов решения нестационарных задач была рассмотрена статически нагруженная железобетонная монолитная конструкция балочного типа в зависимости от интегральных характеристик вязкоупругих амортизирующих элементов при динамических воздействиях, моделирующих горизонтальные составляющие сейсмических волн.

Процессы деформации составной конструкции были рассчитаны для трех случаев:

1. Фундаментная плита жестко связана с грунтом.
2. Фундаментная плита установлена на упругих амортизирующих элементов.
3. Фундаментная плита установлена на вязкоупругих амортизирующих элементов.

Результаты показали, что параметры вязкоупругих амортизирующих элементов существенно влияют на НДС составных конструкций каркасного типа. На основании проведенных исследований автором доказано, что использование вязкоупругих амортизирующих элементов позволяет более чем в 10 раз снизить пиковые значения ускорений и повысить несущую способность каркасной конструкции в начальный момент воздействия сейсмической волны.

**В общих выводах** по диссертации автор в сжатой форме отмечает новизну и практическую значимость результатов проведенных исследований.

В целом рассматриваемая диссертационная работа Роффе А.И. выполнена на **высоком** научном и практическом уровне. В рамках геометрически нелинейных соотношений теории оболочек Тимошенко на основе вариационно-разностного метода автором диссертации разработаны и развиты адекватные математические модели и эффективные численные методы, позволяющие **впервые** исследовать особенности нелинейного деформирования составных конструкций каркасного типа при комбинированных воздействиях, включая сейсмические.

Для составных конструкций каркасного типа, установленных на амортизированной фундаментной плите, диссертантом разработана **новая** математическая модель, позволяющая на основе прямых динамических расчетов исследовать

довать влияние характеристик вязкоупругих амортизирующих элементов на НДС и трещиностойкость составных конструкций каркасного типа при воздействии горизонтальной компоненты сейсмической волны.

Предложен **новый** практический критерий для определения оптимальных значений параметров вязкоупругих амортизирующих элементов, основанный на сопоставлении амплитудно-частотных характеристик сейсмической волны и амортизированной фундаментной плиты в случае периодического и предельного аperiodического движения.

В развитие вариационной теории автором разработаны консервативные вариационно-разностные схемы, позволяющие на основе простых, ортогональных сеток регулярной структуры и конечно-разностных операторов второго порядка аппроксимации исследовать нелинейное деформирование каркасных конструкций.

Результаты исследований автора имеют как **теоретическое значение** для развития прикладных задач механики деформируемого твердого тела, так и **практическую значимость** в расчетах сложных строительных конструкций.

Так, в рамках упрощенных линеаризованных соотношений диссертантом получены формулы для оценки оптимальных значений параметров итерационного процесса при расчете конструкций каркасного типа.

Предложен корректный способ аппроксимации инструментальной сейсмограммы набором тригонометрических функций, заданных на соответствующих временных интервалах, допускающий его практическую реализацию при выполнении прямых динамических расчетов.

**Достоверность** разработанных математических моделей и численных методов основана на использовании фундаментальных законов механики деформируемого твердого тела, вариационно-разностной формулировке исходных интегро-дифференциальных уравнений и подтверждена практической сходимостью численных решений тестовых задач, а так же подтверждена оптимальной сходимостью итерационного процесса при значениях поправочных коэффициентов, близких к единице.



Практическая реализация разработанных автором диссертации математических моделей и численных методов решения нелинейных начально-краевых задач выразилась в разработке алгоритмов и программ для персональных ЭВМ, с помощью которых решен ряд новых, актуальных прикладных задач по исследованию особенностей нелинейного деформирования составных конструкций каркасного типа при различных видах статического и динамического нагружения, в том числе расчет на трещиностойкость предварительно нагруженной железобетонной каркасной конструкции при динамическом воздействии.

По диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. Среди ученых, внесших большой вклад в развитие механики деформируемого твердого тела (стр. 15 диссертации), нет А.А. Ильюшина, хотя диссертант использует результаты его деятельности, как автора деформационной теории пластичности.
2. Не обозначены рамки применимости разработанных математических моделей и численных методов по исходным параметрам, включая температуру, а также не указан объем необходимых экспериментов для получения данных о функциях и константах материала, необходимых для корректного использования разработанных моделей.
3. Часть диссертационной работы, посвященной верификации разработанных численных методов вызывает удивление скудостью решенных тестовых задач, отсутствием демонстрации адекватного влияния на результаты численного исследования физической и геометрической нелинейности, отсутствием результатов сравнения численных и экспериментальных данных.
4. В работе имеются грамматические ошибки, несогласование падежей и пропуск слов.

Сделанные замечания не снижают общей ценности работы. По теме диссертации автором опубликовано 12 работ, в том числе и в 3-х изданиях из перечня ВАК РФ. Диссертация написана грамотным русским языком, оформлена

в соответствии с требованиями к научным работам, отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 №842), автореферат по своему содержанию полностью соответствует основному тексту диссертации.

Считаю, что диссертационная работа на тему: «Нелинейное деформирование составных конструкций каркасного типа при комбинированных воздействиях» соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Роффе Александр Ильич заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Заведующий лабораторией «Надежность и долговечность при термомеханических циклических воздействиях» Федерального Государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А.Благодатова Российской академии наук (ИМАШ РАН), д.т.н., проф.



Г.В.Москвитин

«Подпись Г.В.Москвитина заверяю»

Начальник отдела кадров ИМАШ РАН, заместитель  
Директора по управлению персоналом



О.Н. Петюков

Россия, 101990, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4,

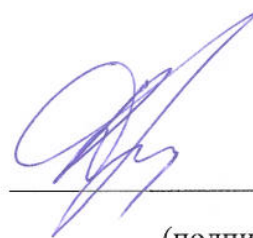
телефон: +7 (495) 628-87-30

E-mail: [info@imash.ru](mailto:info@imash.ru)

В диссертационный совет Д 212.125.05 от доктора технических наук, профессора кафедры «Сопротивление материалов» Федерального государственного бюджетного общеобразовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет»

Джинчвелашвили Гурама Автандиловича

Я, Джинчвелашвили Гурам Автандилович, согласен быть официальным оппонентом по диссертационной работе *Роффе Александра Ильича* «Математическое моделирование процессов нелинейного деформирования составных конструкций каркасного типа при комбинированных воздействиях», представленной на соискание ученой степени *кандидата технических наук* по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».



(подпись)



## ОТЗЫВ

Официального оппонента диссертационной работы: «Математическое моделирование процессов нелинейного деформирования составных конструкций каркасного типа при комбинированных воздействиях», представленной **Роффе А.И.** на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 д.т.н., доц., профессора НИУ МГСУ **Джинчвелашвили Г. А.**

Конструкции каркасного типа широко применяются в современном строительстве, выполняя несущие функции. Актуальность исследования деформирования каркасных строительных конструкций с учетом нелинейных эффектов, реальных свойств конструкционных материалов, включая современные композиты, наличия геометрических и конструктивных особенностей и неоднородностей обусловлена как запросами инженерной практики, так и необходимостью дальнейшего расширения теоретических и прикладных исследований в механике. Необходимо отметить, что определение несущей способности конструкций методами вычислительного эксперимента позволяет существенно сократить сроки и стоимость проектно-конструкторских работ. Кроме того, зачастую бывает невозможно смоделировать реальные условия работы с помощью экспериментального оборудования, а для строительных конструкций это связано также со значительными материальными и экономическими затратами.

Диссертационная работа выполнена на 117 листах, в которых содержится 49 рисунков и 7 таблиц. Состоит из введения, четырех глав, выводов и списка используемой литературы из 110 наименований.

Во введении автор ставит цели и задачи работы, а так же кратко описывает главы диссертационной работы и описывает ход решения.



Обращу внимание, что задача не является новой, но от этого не уменьшается ее актуальность. **Первую главу** диссертант посвящает анализу уже существующих методов решения задач статики и динамики конструкций при различного рода воздействиях, помимо этого, развивает математические модели позволяющие исследовать железобетон на образование трещин, как при упругой, так и при упругопластической работе арматуры. Рассматривает несколько вариантов сопряжения строительных конструкций – «монолитное» и «сборное». Разрабатывает модель поведения конструкции установленной на амортизированной фундаментной плите.

Для дискретизации по пространству и времени, во **второй главе** автор используется метод конечных разностей. Вариационно-разностный метод позволяет получить консервативные разностные схемы. Рассматриваются особенности аппроксимации условий сопряжения элементов как «монолитных», так и «сборных» конструкций. Разрабатывается модель поведения составной конструкции на амортизированном фундаменте, что вкупе с методикой моделирования сейсмического воздействия позволяет получить численное решение как статических, так и динамических задач с учетом начального нагружения, путем адаптации квазидинамической формы метода установления для решения сеточных уравнений уже в **третьей главе**. Автором предлагается единая разностная схема позволяющая эффективно исследовать особенности деформирования составных каркасных конструкций как при статических, так и динамических нагружениях в едином вычислительном эксперименте. Предлагается методика оценки параметров вязкоупругих амортизирующих элементов, для выбора их оптимальных значений.

**Четвертая глава** приведены результаты проведенных исследований процессов нелинейного деформирования составных конструкций при комбинированных воздействиях. На основе разработанных автором математических моделей и методов решения нестационарных задач была рассмотрена железобетонная конструкция с учетом начального статического нагружения, при динамических воздействиях, моделирующих воздействие сейсмических волн. Рассматри-

вается несколько вариантов расположения фундаментной плиты каркасной конструкцией, как на грунте, так и на упругих или вязкоупругих амортизирующих элементах.

Полученные результаты показали, что вязкоупругие амортизирующие элементы позволяют более чем на порядок снизить пиковые ускорения в момент начала воздействия сейсмической волны.

В **выводах** кратко изложены результаты работы и процесс их получения, с описанием хода исследований, с выделением научной новизны и значимости представленной работы.

**Научная новизна результатов** работы заключается в том, что:

1) на основе теории балок и панелей Тимошенко в рамках геометрически нелинейных соотношений теории изгиба и деформационной теории пластичности разработаны и развиты адекватные математические модели и вычислительные алгоритмы, позволяющие на основе одностипных разностных схем исследовать особенности геометрически и физически нелинейного деформирования составных неоднородных конструкций каркасного типа при воздействии статических и динамических нагрузок;

2) построена новая математическая модель для исследования процессов деформирования амортизированных каркасных конструкций при нестационарном воздействии, моделирующем горизонтальную компоненту сейсмической волны, и разработаны практические критерии для определения оптимальных значений параметров вязкоупругих амортизаторов;

3) для общего случая аппроксимации инструментальной сейсмограммы разработана методика, основанная на использовании кубической сплайн-интерполяции;

4) на основе квазидинамической формы метода установления в сочетании с явной разностной схемой второго порядка аппроксимации построен вычислительный алгоритм для решения стационарных и нестационарных задач, что позволяет получать оценку остаточной несущей способности конструкций при решении геометрически и физически нелинейных задач;



5) исследовано влияние параметров вязкоупругих амортизаторов на процессы деформирования составной железобетонной конструкции при совместном действии горизонтальной компоненты сейсмической волны и статической нагрузки и установлено, что использование вязкоупругих амортизаторов позволяет более чем в 10 раз снизить пиковые значения ускорений на элементах каркасной конструкции.

Диссертационная работа Александра Ильича Роффе выполнена на высоком научном и практическом уровне. На защиту вынесены разработанные и развитые математические модели, позволяющие исследовать особенности нелинейного деформирования составных конструкций каркасного типа при различных воздействиях, методом вычислительного эксперимента, без проведения натурного эксперимента.

Построены и предложены новые математические модели, позволяющие на основе одностепенных разностных схем исследовать деформирование составных конструкций каркасного типа, учитывающие:

- образование, развитие трещин в бетоне;
- работу армирующих элементов;
- работу амортизированной фундаментной плиты, для определения ее оптимальных параметров;
- стационарные и нестационарные задачи, позволяющие получить оценку остаточной несущей способности сооружения в целом.

В результате проведенных исследований автор показал, что несущая способность сооружения может быть повышена без увеличения процента армирования, путем реализации податливых условий сопряжения конструкции с большим числом степеней свободы. В результате проведения вычислительного эксперимента А. И. Роффе показал, что использование вязкоупругих амортизаторов позволяет более чем в 10 раз снизить нагрузку на составную конструкцию при воздействии горизонтальной компоненты сейсмической волны. Проведенные исследования, с учетом их использования при проектировании позволят оптимизировать составные каркасные конструкции по прочностным и весо-

вым характеристикам, а также разработать рекомендации по их удельному весу и материалоемкости.

В связи с этим, результаты исследования А. И. Роффе имеют как теоретический интерес для развития задач механики деформируемого твердого тела, так и практическую значимость для использования в предварительных расчетах сложных составных строительных конструкций каркасного типа.

**Степень обоснованности научных положений выводов и рекомендаций.**

**Достоверность и обоснованность** полученных в работе математических моделей и численных методов основывается на использовании фундаментальных законов механики деформируемого твердого тела и подтверждается практической сходимостью численных решений при сопоставлении с известными аналитическими решениями тестовых задач.

В качестве практической составляющей можно отметить реализацию математических моделей и численных методов их решения, для составных конструкций каркасного типа при различных воздействиях, в виде прикладных программ для персональных ЭВМ.

По диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. Приведенные параметры сейсмической волны соответствуют сейсмичности в 9 баллов, но в работе этот факт не отражен.
2. Малое внимание уделено использованию композиционных материалов.
3. Судя по диссертационной работе, при моделировании динамической задачи вязкое затухание учитывается по модели Релея, однако, в работе не указывается величина декремента колебаний принятая в расчетах.
4. К сожалению, в диссертационной работе отсутствуют блок-схемы или тексты вычислительных программ, используемые при проведении вычислительных экспериментов.

Несмотря на высказанные замечания, работа производит хорошее впечатление, она прошла апробацию, обсуждалась на ряде конференций, в том числе международных. Опубликовано 12 статей, из них 3 в изданиях из списка ВАК РФ.



Диссертация оформлена в соответствии с требованиями к научным работам, автореферат по своему содержанию полностью соответствует основному тексту диссертации.

Считаю, что научно-квалификационная работа «Математическое моделирование процессов нелинейного деформирования составных конструкций каркасного типа при комбинированных воздействиях» выполнена на актуальную тему, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний. Работа отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней (постановлением правительства РФ от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Роффе Александр Ильич вполне заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Доктор технических наук, доц.,  
проф. кафедры «Сопротивление  
материалов» НИУ МГСУ

Джинчвелашвили  
Гурам Автандилович

Джинчвелашвили Гурам Автандилович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Сопротивление материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ).

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,  
тел.: +7 (499) 183-28-91, [guram2004@yandex.ru](mailto:guram2004@yandex.ru)

*Доктор  
Заведующий* Джинчвелашвили Г. А.

