

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИПРИМ РАН,

доктор технических наук, профессор



Власов А.Н.

14 ноября 2016 г.

ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

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"

Общие сведения о диссертационной работе

На рассмотрение ведущей организации представлена диссертационная работа Роффе Александра Ильича объемом 117 страниц, включающая 49 рисунков и 7 таблиц, структурно подразделенная на введение, четыре главы, выводы, список литературы из 110 наименований, а так же автореферат вышеозначенной диссертации.

Изучение диссертационной работы, автореферата и публикаций соискателя позволило сформулировать представленные ниже заключения.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Математическое моделирование процессов нелинейного деформирования составных конструкций каркасного типа при комбинированных нагружениях, является актуальной теоретической и важной практической задачей, в связи с

широким использованием данных конструкций в современном машиностроении и строительстве. Математические модели и численные методы, учитывающие особенности деформирования составных конструкций позволяют произвести оценку параметров прочностной надежности как уже эксплуатируемых конструкций, так и сократить сроки и стоимость проведения проектно-исследовательских работ на стадии начала строительства.

Современные требования к расчетным моделям для ответственных применений, таких как стартовые комплексы авиакосмических систем, атомные электростанции и прочие, вызывают необходимость учета различных конструктивных особенностей составных конструкций, в том числе и для повышения «живучести» конструкции для которых необходимо определение оптимальных значений коэффициентов армирования несущих элементов конструкции, расчет с учетом наличия амортизирующих систем для снижения динамического отклика при нестационарных воздействиях различного вида, и характера в едином вычислительном эксперименте.

Рассмотренные в диссертационной работе задачи и методы их решения особенно актуальны для сейсмически активных регионов нашей страны.

2. Оценка содержания диссертационной работы, ее завершенность.

Основными целями диссертационной работы являлись:

- разработка адекватных математических моделей и экономичных численных методов для исследования процессов деформирования составных конструкций каркасного типа при комбинированных видах нагружения с учетом геометрической и физической нелинейности;
- проведение методами вычислительного эксперимента исследований особенностей деформирования каркасных конструкций при совместном действии статических и динамических нагрузок с последующей оптимизацией параметров амортизирующих систем при сейсмических воздействиях на каркасную конструкцию.

Для достижения сформулированных целей диссертационной работы соискателем были поставлены и решены следующие **задачи**:

- разработаны и развиты эффективные и экономичные численные методы решения нелинейных начально-краевых задач, описывающих статическое и динамическое состояние составной конструкции.
- исследованы особенности процессов деформирования составной конструкции каркасного типа из железобетона, расположенной на фундаментной плите в связке фундамент- грунт, и в связках фундамент-амортизирующий элемент-грунт и проведено сравнение полученных результатов.
- исследованы особенности деформирования составных конструкций в зависимости от условий сопряжения несущих элементов как «монолитная» и «сборная» и установлено что вариант сборной конструкции, имеющей большее число степеней свободы, обладает большей несущей способностью по сравнению с монолитным соединением элементов каркасной конструкции;
- исследовано влияние процентного содержания используемых армирующих элементов на несущую способность железобетонных конструкций.

Постановка и решение описанных задач, анализ результатов сведены в работу следующей **структуры и содержания**.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, обоснован выбор метода достижения поставленных целей, указана научная новизна результатов работы, их теоретическая и практическая значимость, представлены информация о структуре, объеме диссертации и краткое изложение диссертационной работы.

В **первой главе** приведен аналитический обзор работ посвященных данной тематике, сформулированы цели и задачи диссертационной работы. На основе балочной модели Тимошенко, разработаны и развиты математические модели, позволяющие исследовать особенности процессов деформирования

составных конструкций каркасного типа, как при статических, так и динамических воздействиях различного вида и характера. Предложены модели деформирования железобетонных элементов при различных вариантах армирования, с учетом упругой и упруго-пластичной работы арматуры, и возможностью образования, развития и закрытия трещин в бетоне. Геометрическая нелинейность для балок учитывается в рамках квадратичной теории, а для учета физической нелинейности при описании упруго-пластической работы арматуры используются соотношения деформационной теории пластичности. Сформулированы условия сопряжения для вертикальных и горизонтальных элементов каркасных конструкций для вариантов «монолитная» и «сборная» конструкция. Разработана новая математическая модель для каркасной конструкции на амортизированном фундаменте, при использовании системы вязкоупругих демпферов, рассматриваемая как составная.

Во второй главе осуществляется дискретизация по пространственным и временной координатам методом конечных разностей. Дифференциальные операторы аппроксимируются разностными второго порядка точности. Для построения дискретных аналогов исходных интегро-дифференциальных уравнений используется вариационно-разностный метод, что позволяет автору получить консервативные разностные схемы. Построены конечно-разностные аппроксимации различных вариантов условий сопряжения элементов составных конструкции в вариантах монолитного и сборного соединения. К рассмотрению предлагается математическая модель для конструкции, установленной на амортизируемой фундаментной плите.

Разработана методика моделирования сейсмического воздействия в общем случае с помощью сплайн-интерполяции, а в частном - набором тригонометрических функций, заданных на соответствующих временных интервалах по характерным значениям параметров сейсмического воздействия.

В третьей главе для решения исследуемых задач разрабатываются и развиваются численные методы решения сеточных аналогов исходных

нелинейных дифференциальных уравнений. Для решения стационарных задач используется квазидинамическая форма метода установления, что в сочетании с явной двухслойной схемой второго порядка точности позволяет автору построить единую разностную схему для решения как статических, так и динамических задач без перестройки вычислительного алгоритма. Разработанная однотипная схема особенно эффективна при расчетах конструкции на комбинированные виды нагружения, что является достоинством данной работы. Получены оценочные формулы для определения оптимальных значений параметров итерационного процесса. Для конструкции расположенной на амортизируемой фундаментной плите, предложена корректная методика определения оптимальных значений амортизирующих элементов.

В четвертой главе приведены результаты исследований процессов деформирования составных конструкций каркасного типа при комбинированных видах нагружения. Для подтверждения достоверности разработанных математических моделей и численных методов проведено сопоставление результатов численных и аналитических решений тестовых задач в зависимости от параметров сетки.

С помощью разработанных математических моделей рассматривается статически нагруженная железобетонная конструкция, при динамических воздействиях, моделирующих воздействие горизонтальной компоненты сейсмической волны. В диссертации на основе использования кубической сплайн-интерполяции разработана оригинальная методика, позволяющая избежать ошибок при использовании формул численного дифференцирования для вычисления ускорений в заданных точках конструкции, обусловленных особенностями машинной арифметики. Результаты проведенных исследований показали, что использование вязкоупругих амортизирующих систем при оптимальных значениях их интегральных характеристик позволяет более чем на порядок уменьшить максимальные значения ускорений на элементах каркасной конструкции.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

3. Степень достоверности результатов и выводов.

Достоверность результатов диссертационной работы обоснована использованием фундаментальных законов механики деформируемого твердого тела, использованием апробированного математического аппарата, а так же практической сходимостью численных решений при сопоставлении с известными решениями тестовых задач.

4. Научная новизна основных результатов диссертации.

В настоящее время большое количество работ посвящено математическому моделированию процессов деформирования составных конструкций каркасного типа, однако, как правило, в линейной, упрощенной постановке. При этом имеется весьма ограниченный круг работ, в которых ставятся и решаются нелинейные задачи с учетом их предварительного статического нагружения, в том числе, позволяющие получать оценку остаточной несущей способности каркасных конструкций при различных воздействиях, включая сейсмические. Однако, в данной работе диссертант смог предложить более эффективный и рациональный способ исследования процессов деформирования составных конструкций каркасного типа с учетом как геометрической, так и физической нелинейности при комбинированных видах нагружения на основе однотипной разностной схемы.

Так же диссертантом проведено исследование и сравнительный расчет моделей составных конструкций жестко связанных как непосредственно с грунтом, так и установленных на упругих и вязкоупругих демпферах и методами вычислительного эксперимента показано, что использование вязкоупругих амортизирующих элементов может более чем на порядок снизить воздействие сейсмической волны.

5. Научная и практическая значимость результатов диссертации.

Ценность результатов, полученных в рассмотренной диссертационной работе заключается в следующем:

- Разработаны и развиты новые адекватные математические модели и экономичные численные методы, позволяющие на основе однотипной

разностной схемы исследовать особенности нелинейного деформирования каркасных конструкций при комбинированных видах нагружения;

- проведены исследования процессов деформирования типовых видов предварительно статически нагруженных каркасных конструкций при нестационарном воздействии, моделирующем горизонтальную компоненту сейсмической волны, и подтверждена практическая эффективность предложенных в работе методик оценки оптимальных значений параметров вязкоупругих амортизирующих систем;

Практическая ценность результатов работы заключается:

- выработаны практические рекомендации по использованию вязкоупругих амортизирующих элементов, позволяющих более чем на порядок снизить максимальные ускорения на элементах составной конструкции;
- Предложены корректные параметры для определения оптимальных значений параметров амортизирующих систем для составных конструкций каркасного типа, позволяющие снизить сроки и себестоимость проектных работ при строительстве в сейсмически активных регионах;
- Разработаны эффективные и однотипные алгоритмы решения нелинейных начально-краевых задач на персональных ЭВМ.

6. Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Полученные в работе результаты целесообразно использовать для анализа как машиностроительных, так и строительных составных каркасных конструкций, как на этапе проектирования, так и для оценки остаточной прочности данных конструкций.

7. Оценка стиля диссертации и автореферата.

Стиль изложения теоретического материала, использование математического аппарата и терминологии соответствуют требованиям к

диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «Механика деформируемого твердого тела».

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

По теме диссертационной работы опубликовано 12 работ, в том числе и в 3-х журналах, входящих в перечень ВАК РФ.

8. Общие замечания по содержанию и оформлению диссертации.

1. В работе учитывается упруго-пластическая работа арматуры, но не учитывается упруго-пластическая работа бетона, при этом в диссертационной работе не приводится подробной аргументации не учета работы бетона в пластичной стадии, хотя из представленных результатов, разработанные численные методы позволяют это сделать.
2. При проведении исследований в § 4.2 не указаны для каких значений логарифмического декремента колебаний проводились исследования при сейсмическом воздействии.
3. Несмотря на рассмотренную в постановочной части диссертационной работы возможность расчета конструкций из композитных материалов, в работе не представлены конкретные результаты исследования каркасных конструкций из композита.

Перечисленные выше замечания не свидетельствуют о снижении качества диссертации и не препятствуют ее положительной оценке.

С учетом перечисленного выше следует заключить, что *диссертационная работа представляет собой завершенное исследование, выполненное на высоком научном и методическом уровне.*

Заключение о соответствии диссертационной работы критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.

Представленная к защите диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой получено аналитическое решение важной, актуальной как теоретически, так и в прикладном отношении задачи.

Структура диссертации, язык изложения материала и терминология соответствуют современному уровню и существующим требованиям к научно-квалификационным работам.

Результаты диссертационной работы получены соискателем самостоятельно, являются новыми, обладают как теоретической, так и практической значимостью, опубликованы в достаточном количестве в периодических изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ, обсуждены на международных и российских научных конференциях, симпозиумах и семинарах с участием ведущих специалистов в области исследования.

Область исследования и основные результаты диссертационной работы полностью соответствуют паспорту специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

В целом, работу следует оценить положительно.

Диссертация отвечает требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Роффе Александр Ильич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Заместитель директора по научной работе

ФГБУН Института прикладной механики РАН (ИПРИМ РАН), д.ф.-м.н.



Данилин А.Н.

Настоящий отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Учёного Совета ИПРИМ РАН; протокол № 10/16 от 14 ноября 2016 г.

125040, Россия, Москва, Ленинградский проспект, д. 7

Телефон: +7 (495) 946-18-06

E-mail: iam@iam.ras.ru