

ОТЗЫВ

на диссертацию Джонмамад Мохру Тохир «Численное моделирование динамических задач пологих оболочек», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.00 - Строительство и архитектура (05.23.17- Строительная механика)

Актуальность темы исследования. Диссертация Джонмамад М.Т. посвящена развитию численного моделирования динамических задач пологих оболочек и анализа напряженно-деформированного состояния. Оболочечные конструкции широко используются в области строительства, машиностроения, авиастроения. Это объясняется высокой несущей способностью тонкостенных конструкций, рациональностью и экономичностью. Как известна, оболочка называется полой, если её стрела подъёма меньше или равна одной пятой наименьшего линейного размера в плане. В теории пологих оболочек, также, как и в общей теории пластин и оболочек, особое место занимает проблема, связанная с решением динамических задач.

В условиях широкого применения оболочек в качестве покрытий зданий и сооружений в сейсмически активных регионах, задача их динамического расчёта приобретает особую актуальность. Динамический анализ оболочек относится к числу ключевых и наиболее сложных проблем в строительной механике. Особую значимость имеет исследование динамического поведения конструкции на основе совместного решения уравнений движения оболочки и элементов контура. Таким образом, комплексное изучение динамики системы позволяет не только определить частоты и формы колебаний, но и установить закономерности изменения перемещений и внутренних усилий во времени. Поддерживающие оболочку элементы конструкции также испытывают динамическое воздействие. Поэтому важным является решение вопроса о динамическом поведении всей пространственной системы «поддерживающие конструкции – контурные элементы – собственно оболочка». Можно отметить, что в работе представлен комплексный анализ

динамических явлений, с применением численного моделирования процессов колебания пологих оболочек. Данная работа актуальна в контексте приоритетных направлений стратегического развития Республики Таджикистана в области строительства и архитектуры.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- предложены математические модели колебания полой оболочки, показано применение метода конечных разностей для решения моментных динамических уравнений;
- исследованы границы изменения шага по времени и влияние сгущения сетки на результаты численного расчёта динамики полой оболочки;
- предложена методика и соответствующий алгоритм решения задачи динамического поведения полой оболочки с учётом продольных, поперечных и крутильных колебаний контурного ребра;
- сформулированы и решены задачи о колебании оболочки с учётом пространственной работы контурного ребра;
- получены уравнения и разработан алгоритм расчёта поступательно-вращательного диска оболочки.

Достоверность выводов и рекомендаций, подтверждается проведением численных экспериментов и сравнением полученных результатов с известными решениями других авторов.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке методики и компьютерные программы расчёта оболочечных элементов, которая позволяют исследовать динамическое поведение оболочки совместно с контурными элементами и поддерживающими конструкциями на действие импульсной нагрузки. Разработанные алгоритмы и компьютерные программы могут быть успешно применены при проектировании системы "колонна-диафрагма-оболочка" на сейсмические, взрывные и другие виды динамических воздействий.

Предложенные подходы открывают возможности для динамического расчёта, создание эффективных решений и оптимизации инженерных

программных продуктов. Практическая значимость доказана реализацией в рамках различных проектов.

Публикации результатов. По материалам диссертационной работы опубликовано 9 работ, в том числе 5 из которых опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и 4 статьей в сборниках и журналов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.23.17 «Строительная механика», включая разделы по общим принципам расчёта сооружений и численным методам их расчёта, соответствующие пунктам:

1- Общие принципы расчёта сооружений и их элементов;

4- Численные методы расчёта сооружений и их элементов.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, списка литературы из 211 наименований и приложений. Общий объём работы 149 страницы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, излагаются цели и задачи диссертационного исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, достоверность полученных результатов и личный вклад соискателя.

Первая глава посвящена обзору литературы и исследований по расчёту оболочек на динамические воздействия, а также приведён по методу решения динамической задачи теории оболочек. Также изложен анализ методике расчета колебаний оболочечных конструкций при сейсмических воздействиях и учёт влияния поддерживающих конструкций на колебания оболочек, а также численные методы расчёта.

Во второй главе рассматривается математическое моделирование динамических задач оболочки на основе метода конечных разностей. Рассмотрена пологая оболочка положительной гауссовой кривизной, для которой, согласно технической теории В.З. Власова приведены уравнения движения. Отмечено, преимущества метода конечных разностей, что он

позволяет решить задачу практически с любыми граничными условиями и геометрией оболочки. Применение метода конечных разностей к динамической задаче сводится к тому, что шаг за шагом во времени и на каждом шаге последовательно определяется напряженное и деформированное состояние оболочки с учетом изменения параметров системы (по явным и неявным схемам). Следовательно, на каждом шаге необходимо решать систему линейных алгебраических уравнений. Рассмотрены некоторые виды граничных условий. Разработан численный алгоритм, полученный на основе дискретизация исходной задачи, указан соответствующие требования, связанные с устойчивостью, сходимостью и точностью решений.

На основе изложенного алгоритма была разработана компьютерная программа, с помощью которой получены результаты колебаний пологой оболочки от действия кратковременной нагрузки и мгновенного импульса. Приведены сравнения результатов, полученных при различных значениях шаг по времени и постоянном шаге по пространственным координатам.

Здесь также показаны результаты численного моделирования для оболочки с шарнирно - неподвижным опорами от действия равномерно распределённой кратковременной нагрузки. Представлен сравнительный анализ максимальных значений прогиба, изгибающего момента и нормальной силы в центре оболочки от действия кратковременной нагрузки в графическом и табличном виде.

В третьей главе рассматривается влияние деформативности контурных элементов на напряженно - деформированное состояние пологой оболочки. Расчет оболочки с учетом деформации контурного элемента представляет собой одну из сложных задач строительной механики. Динамические уравнения равновесия получена из непосредственного рассмотрения элемента контурного ребра. Условия равновесия элемента позволяют получить дифференциальные зависимости между внешними нагрузками, передаваемыми с оболочки, и внутренними усилиями в поперечных сечениях

контурной балки. Рассмотрение вопроса о разностной аппроксимации динамических уравнений контурного элемента является одним из основных вопросов в решении поставленной задачи. Аппроксимируя в конечных разностях, получены формулы для определения перемещений и углов поворота в узлах сетки на линии контура.

Рассмотрено колебание оболочки, нагруженное равномерно распределённой импульсной нагрузкой. Контурные элементы оболочки, считается, что могут колеблется в продольном и поперечном направлениях, а также скручиваться.

Разработана компьютерная программа на языке Фортран и получены результаты численного моделирования с использованием конечной сетки. Приведены решения ряда задач для частных случаев. Отмечена, что колебания всех точек контурного элемента происходят в одной фазе с максимальной амплитудной в определенной точке. Контурные элементы оболочки испытывают одновременно деформации растяжение-сжатие и изгиба в вертикальных и горизонтальных плоскостях. Здесь рассмотрены изгибно-продольные движения контурного элемента в пространстве без кручения, а также изгибно-крутильные колебания контурного элемента оболочки.

Отметим, что моделирование динамической задачи оболочки с учетом деформации контурного элемента представляет собой одну из сложных задач строительной механики. Предполагается, что пологая оболочка соединяется с контурными рёбрами таким образом, что эта связь характеризуется четырьмя неизвестными усилиями. Разработана компьютерная программа и получены результаты численного расчёта оболочки с учётом изгибно-продольных колебаний контурного элемента.

Глава 4 посвящена расчету пространственной работы оболочки с различными граничными условиями. Здесь рассмотрена задача, когда оболочка с упругими контурными элементами опирается по углам на упругоподатливые опоры в горизонтальной плоскости и испытывает

действие распределённой горизонтальной импульсивной нагрузки, приложенной по краям. Внешняя нагрузка прикладывается по осям контурных элементов, которые совпадают с серединой поверхностью оболочки. Опорные связи в углах расположены на нижней части контурного элемента и имеют эксцентриситет.

Считается, что оболочка с упругими контурными элементами опирается по углам на колонны, опорные части, которых испытывают симметричное внешнее воздействие. Физическая сущность задачи состоит в том, что внешнее воздействие приводит в движение стержня и в стыке с оболочкой возникают силы, которые в свою очередь деформируют контурный элемент и тем самым оболочку.

При шарнирном опирании, если считать, что стержень в продольном направлении не двигается, в каждом углу возникают по две силы. В силу симметрии можно рассмотреть только $1/4$ часть оболочки и один стержень. По изложенным алгоритмом составлена компьютерная программа и получены результаты численного моделирования динамической задачи.

Также с целью изучения вращательно-поступательного движения оболочки разработана динамическая модель. Здесь опорные стержни заменены упруго-податливыми опорами с соответствующими коэффициентами по осям x и y . При этом считается, что стержни невесомые и в них возникают незначительные крутящие моменты, которыми можно пренебречь. Кроме того, стержни в продольном направлении не деформируемы. С целью проверки достоверности результатов, полученных на основе разработанной методики, были проведены сравнения с известными решениями.

Таким образом, разработан алгоритм и получены результаты колебания оболочки с учетом изгибно-продольных колебаний контурного ребра и упруго-податливыми закреплениями угловых точек. Получено решение задачи о поступательно-вращательном движении диска оболочки при несимметричном воздействии.

Сравнение известных результатов решения задачи о поперечном колебании балки с различными граничными условиями и системы с одной степенью свободы с результатами решения этих же задач по предлагаемой методике приводит к заключению, что применяемый в работе метод даёт достаточно точные значения для частоты первого тона. Учёт деформативности контурных элементов и поддерживающих конструкций позволяет более точно определить реакцию оболочки в зависимости от времени по сравнению с оболочками с идеальными диафрагмами и жёсткими поддерживающими конструкциями, и может быть рекомендован для реального проектирования оболочек в сейсмических районах, а также для восприятия других динамических воздействий.

Вместе с тем, по диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В первой главе приведены обзор литературы в большом количестве (210), но в основном относительно давнейших изданий. Желательно было бы осветить за последние годы, а также добавить больше иностранных источников.
2. В параграфе 2.1 приведены дифференциальные уравнения движения в виде (2.1), но после применения разностной схемы, не представлены разностные уравнения в перемещениях.
3. В структуре третьей главы заметны некоторые неравномерности в глубине изложения материала: теоретическая часть представлена очень обстоятельно, тогда как отдельные разделы, содержащие практические расчёты и анализ полученных зависимостей, изложены более кратко.
4. Желательно было бы привести в параграфе 4.4 диссертации, где приведены решения задачи о поперечном колебании балки, рассмотреть более сложной геометрии конструкции.
5. Следовало бы указать сходимость расчетных величин по координатам для больших число узлов.

Указанные замечания в основном носят методический характер и ни в коей мере не снижают ценности проведенного автором исследования.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что диссертация выполнена на высоком научном уровне, написана грамотным техническим языком и соответствует требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Джонмамад Мохру Тохир заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.00-Строительство и архитектура (05.23.17- строительная механика).

Официальный оппонент: Абдусаттаров Абдусамат,
доктор технических наук, профессор

Научная специальность: 01.02.04 - «Механика деформируемого твердого тела»

должность: профессор кафедры «Прикладная механика»

организация: Ташкентский государственный транспортный университет.

Адрес: Республика Узбекистан, 100085, г. Ташкент, Сергелийский район
Сергели – 6, дом 1, кв.22

Телефон: +998 97 757 69 46

E-mail: abdusattarov4646@gmail.com



Абдусаттаров А.

Подпись Абдусаттарова Абдусамата подтверждаю.

Начальник отдела кадров ТГТУ

Адрес: 100167, Республика

Узбекистан, г. Ташкент

Мирободский район,

улица Темирийулчигар, дом 1.

Телефон : +998712990001

10.12.2025г.

ОТЗЫВ

на диссертацию Джонмамад Мохру Тохир
«Численное моделирование динамических задач пологих оболочек»,
представленной на соискание учёной степени кандидата технических
наук по специальности 05.23.00 - Строительство и архитектура
(05.23.17- строительная механика)

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.23.17 «Строительная механика», включая разделы по общим принципам расчёта сооружений и численным методам их расчёта, соответствующие пунктам:

- 1- Общие принципы расчёта сооружений и их элементов;
- 2- Численные методы расчёта сооружений и их элементов.

Связь исследования с программами и научными темами

Данное исследование разработано в рамках тематики научно-исследовательской работы кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими и лаборатории «Сейсмостойкость зданий и сооружений» Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ. Настоящая диссертационная работа непосредственным образом связана со «Стратегия развития строительной отрасли Республики Таджикистан на период до 2030 года», утверждённый Правительством Республики Таджикистан от 27 апреля 2022 года за № 203.

Актуальность темы исследования

Оболочки обеспечивают свободное, неразделённое на части пространство, что особенно важно для таких объектов, как театры, музеи и спортивные комплексы.

В теории пологих оболочек, также, как и в общей теории пластин и оболочек, особое место занимает проблема, связанная с решением динамических задач. Теория колебания тонких пологих оболочек связана с именем выдающегося бывшего советского учёного в области строительной механики О.Д. Ониашвили. Теоретические исследования динамической

теории оболочек можно разделить на два направления: 1) работы, выполненные как на основе аналитических, так и численных методов, посвящённые исследованию собственных колебаний; 2) работы связанные с вопросами определения динамических перемещений и напряжений в зависимости от времени. Решение задач второго направления включает в себя, как правило, и задачи о собственных колебаниях и имеет ряд дополнительных трудностей, связанных при численной реализации с проблемами сходимости и точности решения.

Динамический анализ оболочек относится к числу ключевых и наиболее сложных проблем в строительной механике. Зачастую подобный расчёт сводится к нахождению частот и форм собственных колебаний. Учитывая, что оболочки покрытий, как правило, включают в себя контурные элементы, особую значимость имеет исследование динамического поведения конструкции на основе совместного решения уравнений движения оболочки и элементов контура.

Численные методы, применяемые в строительной механике, включают задачи численного дифференцирования, интегрирования, а также численное решение дифференциальных и интегральных уравнений, связанных с аппроксимацией искомых функций.

Поддерживающие оболочку конструкции также испытывают динамическое воздействие. Поэтому является актуальным вопрос о динамическом поведении всей пространственной системы «поддерживающие конструкции - контурные элементы - оболочка».

Настоящее исследование ориентирована на применение метода конечных разностей при динамическом расчёте пологих оболочек с различными граничными условиями.

Научная новизна работы

заключается в: разработке методики расчёта пологой оболочки с применением метода конечных разностей для решения динамических уравнений теории пологих оболочек; разработке методики и решение задачи о

динамическом поведении оболочки с учётом продольных, поперечных из плоскости, поперечных в плоскости и крутильных колебаний контурного ребра; решении задачи о колебании оболочки с учётом пространственной работы контурного ребра; решении задачи о колебании оболочки с учётом инерции поддерживающих конструкций (в случае симметричного воздействия на опорной части системы «оболочка-поддерживающая конструкция»; получении уравнения и разработки алгоритма расчёта поступательно-вращательного диска оболочки.

Степень проработанности научной темы. В этом разделе приводятся имена учёных, которые внесли существенный вклад в исследование тонкостенных пространственных покрытий, в частности, развитии общей теории оболочек.

Развитие общей теории оболочек связано с фундаментальными работами В.З. Власова, А.С. Вольмира, А.Л. Гольденвейзера, Н.А. Кильчевский, А.И. Лурье, Х.М. Муштари, В.В. Новожилова, Ю.Н. Рабинова, А.Р. Ржаницына, В.И. Федосьева, А. Лява, С.П. Тимошенко, В. Флюге, В.В. Болотина, О.В. Лузина, П.М. Огибалова и др.

Степень достоверности результатов проведённых исследований подтверждается проведением численных экспериментов и решением задач, а также обеспечивается проверкой точности и сходимости используемых методов и многочисленными сравнениями полученных результатов с известными решениями.

Во введении диссертации даётся обоснование актуальности выбранной темы диссертационной работы, обзор литературы, сформулированы цель и её научное значение, приведены основные результаты, составляющие научную новизну работы и её практическую ценность.

В первой главе изложен обзор работ по методу решения динамической задачи теории оболочек. Приведён анализ методы исследования колебаний оболочек при сейсмических воздействиях, учёт влияния поддерживающих

конструкций на колебания оболочек, а также численные методы расчёта. Глава состоит из 5 параграфов и заканчивается выводами.

Вторая глава посвящена моделированию динамических задач пологих оболочек. В этой главе рассматривается расчёт пологой оболочки на импульсивное воздействие методом конечных разностей. МКР представляет собой один из методов анализа в механике деформируемых твёрдых тел. Граничные условия играют ключевую роль в определении поведения пологих оболочек при динамических нагрузках. Правильный выбор граничных условий важен для точного моделирования и анализа поведения пологих оболочек, а также для прогнозирования её деформаций и напряжений в реальных условиях. Применение метода конечных разностей к динамической задаче сводится к тому, что шаг за шагом во времени и на каждом шаге последовательно определяется напряженное и деформированное состояние оболочки с учётом изменения параметров системы. А также разработана программа на языке Фортран, которая даёт возможность рассчитать оболочку с различными граничными условиями. Глава заканчивается выводами.

Третья глава посвящена расчёту оболочки совместно с контурными элементами при импульсивном воздействии и численному моделированию задач пологой оболочки на основе разработанной программы. На основе алгоритма разработана компьютерная программа на языке ФОРТРАН и получены результаты численного моделирования исследуемого объекта. Алгоритм расчёта реализуется на примере пространственной пологой оболочки с различными граничными условиями.

Особый интерес вызывает подробный анализ различных типов закреплений и сравнение их влияния на поведение пологой оболочки.

Четвёртая глава посвящена расчёту пространственной работы оболочки с различными граничными условиями. Данная глава представляет собой логическое продолжение предыдущих глав диссертации и посвящена численному моделированию динамических задач расчёта пологих оболочек с использованием метода конечных разностей. Особенностью данной главы

является применение разработанной методики к конструкциям, имеющим реальное инженерное значение, что существенно повышает её прикладную ценность. На основе разработанного алгоритма выявлено динамическое поведение оболочки с упругоподатливыми опорами. Получены уравнения и изучено вращательно - поступательное движение пологой оболочки. Рассмотрены колебания оболочки с учётом изгибно-продольных колебаний контурного элемента и при упругоподатливых опорах в угловых точках. Получены уравнения движения контурного элемента при его внецентренном сопряжении с оболочкой и совместной работе с поддерживающими конструкциями. По заданным перемещениям на опорной части из решения дифференциальных уравнений поперечного колебания контурного элемента определяются силы взаимосвязи между оболочкой и контурного элемента. Расчёт оболочки производится на действе уже известных сил, приложенных в угловых точках.

Теоретическая и практическая значимость работы

Разработанные алгоритмы и компьютерные программы расчёта позволяют исследовать динамическое поведение оболочки совместно с контурными элементами и поддерживающими конструкциями на действие импульсной нагрузки. Это позволяет предложить проектировщикам практический инструмент для расчёта системы "колонна-диафрагма-оболочка" на сейсмические, аварийные, взрывные и другие виды динамических воздействий.

Личный вклад соискателя учёной степени в исследование заключается в проведении численных экспериментов по расчёту пологих оболочек, а также в обработке, анализе и обобщении полученных результатов, формулировке выводов и подготовке материала для научных публикаций.

Апробация и реализация работы

Основные результаты, представленные в диссертации, докладывались на: международной научно-теоретической конференция «Развитие науки и образования в условиях глобализации на примере горных условий: проблемы,

новые подходы и актуальные исследования», посвящённой 30 - летию сессии Верховного совета Республики Таджикистан и 30 - летию Хорогского государственного университета им. М. Назаршоева. Хорог, 11-12 ноября 2022 г.; республиканской научно - практической конференции (с международным участие) «Вклад женщин в развитие архитектуры и строительство Таджикистана» посвящённой 20 летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в области науки и образования (2020-2040г.) Душанбе, Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, 28 ноября 2023 г.; республиканской научно - практической конференции «Архитектура и градостроительство». Часть 1. Душанбе, Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, 26 марта 2024 г.; «III -й международной научно-теоретической конференции «Развитие науки и образования в условиях глобализации на примере горного региона: проблемы, новые тенденции и соответствующие исследования» Хорогский государственный университет им. М. Назаршоева, Хорог, 14-15 июня 2024.

Разработанная методика внедрена в практику проектирования института «Душанбешахрсоз». Теоретические и прикладные аспекты работы уже интегрированы в учебный процесс Хорогского государственного университета для специальности 1700401- 01 «Гидротехническое строительство» (акты внедрения приводятся в приложении диссертации).

Публикации результатов исследования

По материалам диссертационной работы опубликовано 9 работ, в том числе 5 из которых опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте РТ и 4 статьи в сборниках и журналов.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, общие выводы, рекомендация по практическому использованию результатов исследования, списка использованной литературы, приложения и изложена на 149 страницах (без учёта приложения).

Соответствие диссертации требованиям Высшей аттестационной комиссии. Диссертационная работа выполнена на профессиональном научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Диссертация соответствует всем требованиям Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан.

Автореферат диссертации соответствует требованиям Порядка присуждения учёных степеней, утверждённых постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30.06.2021 года, № 267.

Диссертация написана грамотным техническим языком, содержит все необходимые структурные элементы. Соблюдены логические последовательности изложения материала.

Существенным достоинством исследования является последовательное расширение базовой модели оболочки за счёт учёта дополнительных параметров: инерции контурных элементов, упругих опор, пространственного взаимодействия. Это обеспечивает универсальности методики.

Вместе с тем, по диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В чем заключается представленные исследования от ранее известных решений теории оболочек, дать конкретные разъяснение.
2. Целесообразно было бы в первой главе диссертации привести таблицы, графики и экспериментальные данные, которые существенно повысили бы наглядность главы.
3. С целью повышения точности и устойчивости расчёта по результатам исследования какое оптимальное число разбиение элементов установили по пространству и по времени?
4. В используемых литературных источниках мало уделено электронным ресурсам, что в современных условиях является необходимым атрибутом научных работ.
5. В главе 2, параграфе 2.6 диссертации представлены результаты расчётов для оболочки с различными граничными условиями. желательно было бы

6. Можно было рассмотреть не только свободные колебания, но и вынужденные колебания и определить частоты для более высоких тонов.
7. Желательно было бы привести в приложении к диссертации разработанные компьютерные программы.

Таким образом рассматриваемая диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, написано грамотным техническим языком и соответствует требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, *Джонмамад Мохру Тохир* заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.00 - Строительство и архитектура (05.23.17-Строительная механика).

E-mail: lutfullo.i@mail.ru

Amir Shah

Amir 3.

Адрес: 734025, Республика Таджикистан,
г. Душанбе, улица Хусейнзода, 34
Телефон: (+992 37) 221 41 76
E-mail: expertiza.tj@hotmail.com

