



**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Директор Института механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т.Уразбаева АН РУз  
д.ф.-м.н., профессор Султанов К.С.  
«06» мая 2026 г.**

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**на диссертацию *Каландарзода Ифтихор Имомёр* на тему «*Моделирование динамических задач по расчёту сейсмоизолированных зданий методом сосредоточенных деформаций*», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство и архитектура (2.1.5. Строительная механика).**

Решением разового диссертационного совета 6D.KOA-027 (протокол №28 от 17 февраля 2026 г.) по защите диссертаций на соискание учёной степени доктора философии (PhD), доктор по специальности, кандидата и доктора наук, утверждённого постановлением Правительства Республики Таджикистан от 26.06.2023 г. № 295, на базе Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими, ведущей организацией был назначен Институт механики и сейсмостойкости сооружений Академии наук Республики Узбекистан.

Институт механики и сейсмостойкости сооружений (ИМиСС) АН РУз, являясь головной научной организацией с большим интересом рассмотрел представленную диссертационную работу.

Научная деятельность ведущей организации ИМиСС связана с направлениями: развитие методов расчёта строительных конструкций и изучение их поведения при сейсмических воздействиях. Представленная диссертация находится на стыке этих направлений.

Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз, как ведущая организация, подтверждает высокую актуальность темы диссертационного исследования. Разработка и совершенствование методов моделирования сейсмоизолированных зданий напрямую соответствует приоритетным направлениям развития науки в Республике Таджикистан, связанным с сейсмической безопасностью.

Ведущая организация, рассмотрев и обсудив рукопись диссертации и автореферат диссертации *Каландарзода Ифтихор Имомёр*, заключила следующее:

**1. Соответствие темы и содержания диссертации паспорту научной специальности.** Тема и содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.1.5. «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. «Методы расчёта на динамические и сейсмические нагрузки»;
3. «Экспериментальные исследования конструкций»;
4. «Численные методы расчёта сооружений и их элементов».

## **2. Актуальность темы исследования.**

В условиях повышенной сейсмической активности обеспечение надёжности многоэтажных зданий и минимизация сейсмических рисков становятся основными задачами. В Республике Таджикистан данное направление включено в перечень приоритетных научных исследований, утверждённый постановлением Правительства РТ №333 от 30 июня 2007 года.

В Республике Таджикистан активно ведётся строительство в зонах высокой сейсмической активности, при этом преимущественно применяются пассивные методы повышения сейсмостойкости. Однако такие подходы увеличивают жёсткость и массу зданий, что, в свою очередь, повышает нагрузку при землетрясениях. Использование инновационных технологий необходимо для увеличения объёма высотного здания и повышения его качества. Одним из наиболее эффективных решений этой проблемы является сейсмоизоляция, позволяющая значительно снизить разрушительное воздействие подземных толчков. На данный момент теория расчёта сейсмоизоляции остаётся недостаточно разработанной. Многие из существующих технических решений считаются дискуссионными с точки зрения их безопасности и эффективности. Кроме того, отсутствуют единые рекомендации по выбору параметров сейсмоизоляции. В условиях масштабного строительства в сейсмоопасных районах страны обеспечение надёжной защиты зданий становится приоритетной задачей, от решения которой зависит безопасность жителей. Высотные здания значительно подвержены влиянию горизонтальных и вертикальных нагрузок, возникающих под воздействием сейсмической активности. В связи с этим актуальна задача защиты зданий от резонансных колебаний.

В настоящее время существует множество различных вариантов математического моделирования поведения грунта. Ключевым моментом является выбор наиболее эффективной и подходящей модели для описания работы основания в конкретных условиях.

Математическое моделирование и анализ напряжённо-деформированного состояния при взаимодействии сооружений с грунтовым основанием представляют собой важную научно-практическую задачу.

3. *Научная новизна полученных результатов* состоит в: комплексном подходе к моделированию сейсмоизолированных зданий с учётом нелинейных эффектов; сравнительном анализе различных типов сейсмоизоляции; разработке алгоритма численного решения задачи обратного преобразования Фурье; разработке алгоритма численного решения динамической модели сухого трения со многими степенями свободы; реализации математической модели Bouc - Wen для анализа нелинейной работы сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор; разработке методики расчёта модели сейсмоизолированного здания на основе метода

сосредоточенных деформаций; экспериментальное подтверждение адекватности расчётных моделей; разработке алгоритмов моделирования статических задач балок, плит и фрагмента каркасного здания с учётом сейсмоизоляции и без неё на основе теории подобия; получении коэффициентов подобия, позволяющих переходить от модели объекта к его натуре.

4. *Научная ценность результатов диссертации* заключается в совершенствовании метода сосредоточенных деформаций для расчёта сейсмоизолированных зданий, на основе которого разработаны компьютерные программы. Эти программы позволяют получать решения прикладных задач в строительной механике, имеющих важное экономическое значение.

5. *Научная и практическая значимость работы* заключается в следующем: получены научно обоснованные результаты, диаграммы и зависимости, применяемые при проектировании сейсмоизолированных зданий; полученные результаты могут использоваться для дальнейших исследований в области сейсмостойкого строительства; результаты экспериментальных исследований по предлагаемой модели, представляющие практический интерес при проектировании каркасных зданий с учётом сейсмоизоляции от сейсмических воздействий; предложенные методики расчёта и разработанные компьютерные программы дают возможность исследовать динамическое поведение зданий и сооружений с учётом сейсмоизоляции при различных воздействиях, включая сейсмические. Результаты работы имеют практическую значимость для научно-исследовательских и проектных организаций для оценки сейсмической безопасности различных объектов, испытывающих сейсмические воздействия с применением сейсмоизоляции; результаты исследований могут быть использованы для оптимизации конструктивных решений с применением современных сейсмозащитных технологий.

Результаты, полученные соискателем, представляют значительный интерес для научного сообщества и проектных организаций. Разработанная и апробированная в работе методика может быть рекомендована для использования в практических расчётах, в том числе применительно к сейсмическим условиям Средней Азии. Ведущая организация отмечает корректность постановки задач, обоснованность выбранных методов исследований и качественное проведение вычислительных экспериментов.

6. *Степень достоверности, представленных в диссертации результатов*, подтверждается корректным применением теоретических положений и гипотез, анализом сходимости численных решений, сопоставлением с экспериментальными данными, а также многократной проверкой полученных результатов с использованием других методов сформулированных в диссертации, обеспечивается проверкой точности и устойчивости используемых методов аппроксимации и многочисленными сравнениями полученных результатов с известными решениями.

7. *Личный вклад соискателя в исследование* заключается в постановке цели и задач исследования, выполнении численного моделирования для решения поставленных задач, участии в организации и проведении экспериментальных исследований, разработке и программной реализации численных методов, обработке полученных данных, формулировке ключевых выводов, подготовке материалов для публикации.

8. *Публикации результатов диссертации в рецензируемых научных журналах.* Основные результаты диссертации представлены в 84 статьях, в том числе в 7 моно статьях и 32 статьях в соавторстве, опубликованных в Республики Таджикистан, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 2 статьях, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в Республики Беларусь, 4 статьи в международных журналах (Скопус) и 28 статей в сборниках и журналах, а также 1 патент и 8 авторских свидетельств.

9. *Структура и объём диссертации:* работа состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы, приложения. Объём диссертации составляет 238 страниц основного текста, включая 95 рисунков и 13 таблиц.

Во введении, обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определены степень изученности научной проблемы, объект и предмет исследования, цель и задачи исследования, теоретическая и методологическая основы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, достоверность полученных результатов и личный вклад соискателя.

В первой главе «Анализ современного состояния исследуемого вопроса» приведён обзор работ по методам расчёта конструкций зданий с использованием дискретных моделей и методам сейсмозащиты зданий и сооружений. Изложен сопоставительный анализ численных методов решения динамических задач, а также рассмотрен учёт податливости стыковых соединений в элементах зданий.

Вторая глава «Спектральный анализ сейсмических колебаний» посвящена численному интегрированию, образованию Фурье, а также численному моделированию обратного преобразования Фурье и спектры реакций.

Данная глава является методическим фундаментом диссертационного исследования. Автором проделана большая работа по преобразованию Фурье, выполнению численного интегрирования преобразования Фурье с использованием численного метода. Логика изложения заслуживает одобрения: от формулировки основных уравнений к реализации алгоритма численного решения преобразования Фурье. На основе разработанной компьютерной программы получены результаты дискретного преобразования, которые сопоставлены с аналитическим решением. Наличие в главе 2, раздела 2.5, посвящённого численному моделированию обратного преобразования Фурье на примере синтезированной акселерограммы свидетельствует о глубоком понимании автора специфики численного построения спектров сейсмических колебаний и вычислительной математики в целом. Это создаёт серьёзный задел для дальнейших исследований в последующих главах.

Структура изложения является классической для работ по вычислительной механике и показывает системный подход к решению сложной динамической задачи.

В третьей главе «Численное моделирование системы «платформа - модель здания» с сейсмоизолирующим поясом» исследуются динамические модели здания, а также свободные и вынужденные колебания модели здания со скользящим поясом.

Данная глава является логичным и важным развитием исследования, где автор переходит от спектрального анализа сейсмических колебаний к исследованию различных динамических моделей здания со скользящим поясом. Алгоритм и компьютерная программа позволяют проводить численные эксперименты анализа динамических характеристик зданий различных конструктивных схем с сейсмоизолирующим поясом при различных внешних воздействиях. Рассматривается многомассовая расчётная модель с элементами сухого трения, где плоскость скольжения расположена между массами и случай, когда скользящая плоскость расположена на уровне фундаментной плиты. Полученные алгоритмы реализованы на различных примерах по расчёту модели зданий со скользящим поясом.

Положительно следует оценить системный подход к классификации типов колебаний: отдельное рассмотрение свободных и вынужденных колебаний позволяет детально изучить вклад каждого фактора. Наличие в главе 3, разделов 3.5 - 3.9 с примерами расчёта показывает работоспособность предложенной методики. Комплексный подход к моделированию системы «виброплатформа – модель здания» представляет значительную практическую ценность.

В четвёртой главе «Численное решение динамических задач сейсмоизолированных зданий методом сосредоточенных деформаций» рассматривается решение динамической задачи сейсмоизолированных зданий с применением метода сосредоточенных деформаций. Исследуется динамическая модель здания с сейсмоизоляцией при различных динамических воздействиях. Методом сосредоточенных деформаций сформирована матрица внешней жёсткости исследуемого объекта.

Исследование нелинейной работы сейсмоизоляции на основе гистерезисной модели Bouc-Wen включает три основных компонента: субструктуру, систему сейсмоизоляции и суперструктуру. Составлены уравнения движения суперструктуры в рамках данной модели в матричной форме. Для выполнения расчётов разработана компьютерная программа, с помощью которой получены результаты для динамической модели здания с резинометаллическими опорами.

Для реализации нелинейной модели в качестве объекта исследования рассмотрено 10-этажное каркасное здание. Сейсмозащита здания реализована с использованием 28 резинометаллических опор модели SI-H 500/102 производства "FIP Industriale". Предполагается, что массы сосредоточены на уровнях перекрытий и обладают только одной степенью свободы - в

горизонтальном направлении. В связи с этим для формирования матрицы жёсткости используется основная система метода перемещений.

Для реализации линейной модели в качестве объекта исследования свободных колебаний рассматривается 10-этажное каркасное здание. Из полученных результатов следует, что период колебаний модели с сейсмоизоляцией почти в три раза больше, чем для модели здания с заделкой в опорной части. При этом амплитуды ускорений отличаются примерно на 25%. Далее исследуется каркасная конструкция здания при гармоническом кинематическом воздействии на основание.

Также проведено численное моделирование динамического поведения сейсмоизолированного здания при сейсмическом воздействии, заданном акселерограммами. Разработанный алгоритм позволил получить результаты для двух типов воздействий: синтезированной акселерограммы SA-482 и эталонной записи ElCentro. Сравнительный анализ выявил двукратное превышение пиковых ускорений в жёсткой модели при синтезированном воздействии по сравнению с эталонным. Проведённые численные исследования с применением разработанного программного комплекса достоверно подтверждают эффективность резинометаллических сейсмоизолирующих опор для защиты зданий от сейсмических воздействий.

Для анализа влияния этажности на НДС зданий от сейсмических воздействий исследуются динамические модели сейсмоизолированных зданий различной этажности (10, 15, 20, 25 и 30 этажей), подвергающихся внешнему воздействию в виде заданной акселерограммы землетрясения. Исследуемый объект является каркасное здание. Разработана компьютерная программа и исследованы свободные и вынужденные колебания динамических моделей зданий при различных значениях коэффициента эффективной жёсткости РМО и различных воздействиях.

Далее рассмотрено моделирование взаимодействия здания с основанием методом сосредоточенных деформаций. Предполагая, что сейсмическое воздействие на основание представляется однокомпонентным поступательным движением, принята расчётная модель, в которой каждая масса может иметь по четыре степени свободы. На основе полученного алгоритма разработана компьютерная программа SEISM-14.4 на языке Fortran и получены результаты численного моделирования 14-этажного каркасного здания от сейсмического воздействия в виде заданной акселерограммы.

Рассматривается многокомпонентное сейсмическое воздействие на основе метода сосредоточенных деформаций. Расчётная модель сейсмоизолированного здания предполагает сосредоточение масс в уровнях перекрытий, где каждая инерционная масса обладает четырьмя степенями свободы. Динамическая модель учитывает многокомпонентное кинематическое воздействие на опорную часть конструкции.

Одним из основных задач в решении динамических задач систем с конечным числом степеней свободы является формирование матрицы жёсткости. Здесь для построения матрицы жёсткости применяется метод сосредоточенных деформаций.

Здесь рассматривается решение динамической задачи сейсмоизолированных зданий с применением метода сосредоточенных деформаций. Для динамической системы с конечным числом степеней свободы уравнения равновесия в матричной форме могут быть представлены в виде единой системы уравнений. Наличие в главе 4, раздела 4.9 с примерами расчёта показывает работоспособность предложенной методики.

Пятая глава «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ПЛАТФОРМА - МОДЕЛЬ ЗДАНИЯ» С ЭЛЕМЕНТАМИ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ» посвящена экспериментальным исследованиям системы «платформа-модель здания».

Экспериментальные исследования трёхэтажной железобетонной каркасной модели при гармоническом нагружении позволили получить сравнительные данные по ускорениям и перемещениям для вариантов с сейсмоизоляцией и без неё. В ходе испытаний фиксировались амплитуды колебаний и горизонтальные смещения модели вдоль виброплатформы при варьировании массы эксцентриков и частоты вращения ротора. Получены результаты экспериментальных исследований модели здания, установленной на виброплатформе, от действия гармонической нагрузки при различных значениях её частоты и амплитуды.

Анализ экспериментальных данных показывает, что пиковые значения горизонтальных ускорений в верхней части модели составляют примерно 2/3 от соответствующих параметров движения виброплатформы.

Таким образом, можно сделать вывод, что при сопоставлении результатов теоретических исследований с экспериментальными данными наблюдается их качественное совпадение.

Глава шестая «МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕОРИИ ПОДОБИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ» посвящена вопросам моделирования на основе теории подобия. Реализация теории подобия рассмотрены на примерах различных систем.

В современных условиях численные методы требуют экспериментальной верификации, что делает физическое моделирование на основе теории подобия особенно востребованным.

Методы физического моделирования и принципы теории подобия находят широкое применение в различных сферах, в том числе при изучении поведения строительных конструкций и инженерных сооружений. Подобие означает возможность распространения результатов эксперимента с модели на оригинал. Особую методическую ценность представляет параграф 6.3, где рассматриваются методы преобразования дифференциальных уравнений и введение безразмерных критериев. Это позволяет сформировать универсальную модель, применимую при различных масштабах и параметрах.

Теория подобия позволяет переносить результаты экспериментальных исследований, полученные на моделях, на реальные объекты. Критерии подобия устанавливаются правила для переноса результатов эксперимента с модели на реальный объект.

В данной работе рассматривается метод анализа дифференциальных уравнений, полученных на основе принципа Даламбера, которые описывают колебательные процессы в различных конструкциях.

Таким образом, система дифференциальных уравнений, преобразованная к безразмерному виду с учётом начальных и граничных условий, представляет собой математическое описание задачи как для натурального объекта, так и для модели.

*10. Соответствие оформления диссертации требованиям Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан.*

Диссертация Каландарзода Ифтихор Имомёр оформлена на основании инструкции о порядке оформления диссертаций и автореферата диссертаций № 493 от 27 декабря 2024 года, бюллетень №2 (30), 2024г. в виде рукописи и имеет структуру: а) титульный лист, оформленный согласно приложению №1; б) оглавление; в) перечень сокращений; г) текст диссертации, включающий в себя введение, основную часть из шести глав, заключения, списка литературы и приложения.

Работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, графики, рисунки, таблицы. По каждой главе имеются выводы.

*11. Соответствие научной квалификации соискателя для получения учёной степени.* Научная квалификация соискателя Каландарзода Ифтихор Имомёр соответствует представленной научной специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство и архитектура (2.1.5. Строительная механика).

*12. Замечания по поводу формирования диссертации.*

По диссертации имеются следующие замечания.

1. В научной новизне недостаточно отражены новые результаты по оценке влияния механических свойств основания.

2. Следовало более подробно описать понятие суперструктуры, используемой при моделировании сейсмизолирующих элементов.

3. В недостаточной степени описано влияние нелинейных процессов на динамику зданий с сейсмоизоляцией, не установлены возможные типы их колебаний при действии сейсмических нагрузок.

4. При использовании модели сухого трения в задачах расчета зданий со скользящим поясом равенство скоростей скользящих частей не всегда приводит равенству усилия трения на поверхности скольжения. В динамических задачах модель сухого трения является своеобразной нелинейной моделью, и для решения таких задач необходимо разработать соответствующие алгоритмы определения режимов «скольжение-слипание». Алгоритмы решения подобных задач имеются в международных публикациях.

5. Некоторые графики в главе 2 (в параграфе 2.7), иллюстрирующие спектры акселерограмм, не в полной мере информативны. В частности, отсутствуют указания на то, каким землетрясениям соответствует каждая кривая на совмещённых графиках. Это несколько затрудняет восприятие представленных результатов.

6. В выводах по главе 4 следовало бы обосновать необходимость перехода к главе 5, где проверяется адекватность расчётной модели, что логически подводит к последующему исследованию.

7. В описании моделей не в полной мере раскрыты принятые допущения относительно физико-механических характеристик материалов несущих конструкций (железобетон, сталь). Для условий Таджикистана учёт нелинейности материала каркаса может быть существенным.

8. В текстах диссертации и ее автореферата имеются орфографические ошибки.

Имеющиеся недостатки в основном носят методический характер и не снижают высокого научного качества диссертации и не влияют на общую положительную оценку работы. Приняв их во внимание, соискатель в дальнейшем повысит эффективность своих научных исследований.

Автореферат диссертации подготовлен в соответствии с установленным порядком получения учёной степени доктора технических наук, полностью отражает основное содержание исследования, в нём обоснованы и полностью объяснены значимые научные результаты. Опубликованные статьи полностью отражают содержание диссертации.

13. *Заключение по диссертации.* В целом диссертация *Каландарзода Ифтихор Имомёр* на тему «*Моделирование динамических задач по расчёту сейсмоизолированных зданий методом сосредоточенных деформаций*», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство и архитектура (2.1.5. Строительная механика) выполнена на высоком научном уровне и по содержанию соответствует существующим требованиям.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и является самостоятельным, завершённым научным исследованием, имеющее как теоретическое, так и прикладное значение, отвечающее всем требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан. Соискатель проявил себя как квалифицированный исследователь, способный решать сложные научно-технические задачи.

Считаем, что диссертация соответствует всем требованиям Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан и заслуживает высокой оценки, а её автор *Каландарзода Ифтихор Имомёр* достоин присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство и архитектура (2.1.5. Строительная механика).

Отзыв подготовлен в соответствии с пунктами 76-79 и 81 Порядка присуждения учёных степеней, утверждённых постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30.06.2021года, № 267.

Отзыв обсуждён и утверждён на объединённом заседании лабораторий «Сейсמודинамика подземных сооружений, основания и фундаментов» и «Испытания сооружений и сейсмозащита зданий» Института механики и

сейсмостойкости сооружений имени М.Т.Уразбаева Академии наук  
Республики Узбекистан (протокол №1 от 6 мая 2026 года)


На заседании лаборатории присутствовали: 14 человек.

Результаты голосования за – 14 человек, против - нет, воздержавшиеся - нет.

Председатель заседания,


доктор физико-математических наук, профессор  Б.Мардонов

Эксперт:

доктор технических наук (DSc) 

А.С.Ювмитов

Секретарь заседания:

PhD, старший научный сотрудник 

Н.А. Нишонов

*Подпись проф. Б. Мардонова заверяю  
Ученый секретарь Мемонтова С.И.  
*

Адрес: 100125, Республика Узбекистан,  
город Ташкент, улица Дурмон йули 40,  
Тел. +998 55 520-02-45

E-mail: [instmech@academy.uz](mailto:instmech@academy.uz); Официал. сайт: <https://institutemechanics.uz>