

# ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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).

Диссертационная работа **Каландарзода Ифтихор Имомёр** посвящена разработке и исследованию математических моделей динамического поведения сейсмоизолированных зданий с использованием метода сосредоточенных деформаций. Выбранная тема является актуальной с научной и практической точек зрения и соответствует современным направлениям развития строительной механики, прикладной математики и теории сейсмостойкости.

**Актуальность темы исследования.** Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения точности и надёжности расчётных моделей при анализе отклика зданий на сейсмические воздействия с учётом нелинейных свойств элементов сейсмоизоляции.

Актуальность темы не вызывает сомнений и обусловлена несколькими ключевыми факторами.

**Во-первых**, рост высотности и сложности современных строительных объектов, расположенных в сейсмоопасных регионах, требует перехода от традиционных расчётных схем к более адекватным физико-математическим моделям, способным учесть нелинейное поведение конструктивных элементов при сильных землетрясениях.

**Во-вторых**, широкое внедрение систем сейсмической изоляции (base isolation) в мировой практике проектирования, в том числе и в странах СНГ, выявило недостаточность нормированных упрощённых методов для их

обоснованного расчёта. Метод сосредоточенных деформаций (МСД), будучи компромиссом между полнотой конечно-элементных моделей и моделей с сосредоточенными параметрами, представляет собой перспективное направление.

**В-третьих**, существует устойчивый запрос со стороны проектных организаций на верифицированные, практически применимые методики, которые позволяли бы оценивать локальные пластические деформации в ключевых узлах конструкции.

Исследование автора находится в русле мировых тенденций развития вычислительной механики сооружений, направленных на создание «золотой середины» - моделей, оптимальных по соотношению «точность (скорость) расчёта». Для практики проектирования в Таджикистане, где часто ведётся работа над типовыми проектами, возможность быстрого параметрического анализа различных схем изоляции представляет огромную ценность.

Таким образом, диссертационная работа не просто актуальна, она **своевременна и насущно необходима** для развития строительной науки и индустрии Республики Таджикистан.

**Научная новизна диссертационного исследования** заключается в:

- комплексной подходе к моделированию сейсмоизолированных зданий с учётом нелинейных эффектов;
- разработке поэтажного спектрального анализа и исследование энергетических характеристик сейсмического воздействия;
- развитии метода сосредоточенных деформаций применительно к задачам нелинейной динамики сейсмоизолированных зданий;
- получении новых математических зависимостей, описывающих динамическую реакцию системы с учётом нелинейных силовых характеристик элементов сейсмоизоляции;
- разработке алгоритмов моделирования статических и динамических задач балок, плит, и фрагмента каркасного здания с учётом сейсмоизоляции и без учёта сейсмоизоляции на основе теории подобия.

### **Положения, выносимые на защиту:**

Результаты численного решения задачи обратного преобразования Фурье; результаты численного моделирования здания с сейсмоизолирующим скользящим поясом со многими степенями свободы; результаты численного моделирования здания с сейсмоизоляцией в виде резино-металлических опор (РМО) при их линейной и нелинейной работе; результаты расчёта модели здания с учётом сейсмоизоляции на основе метода сосредоточенных деформаций; результаты экспериментальных исследований на модели сейсмоизолированного каркасного здания; результаты моделирования статических и динамических задач балок, плит и фрагмента каркасного здания с учётом и без учёта сейсмоизоляции на основе теории подобия;

#### **Степень достоверность представленных в диссертации результатов.**

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, является высокой. Все основные результаты получены с использованием корректного математического аппарата, подтверждены аналитическими выводами и численными экспериментами. Представленные расчётные примеры показывают адекватность предложенных моделей и их прикладную эффективность.

**Соответствие темы и содержание диссертации паспорту научной специальности.** Тема и содержание диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.1.5. «Строительная механика», по соответствующим пунктам:

- «Общие принципы расчёта сооружений и их элементов»;
- «Методы расчёта на динамические и сейсмические нагрузки»;
- «Экспериментальные исследования конструкций»;
- «Численные методы расчёта сооружений и их элементов».

**Степень изученности научной темы.** Основным требованием к методам расчёта является уменьшение трудоёмкости расчётов при сохранении достаточной точности полученного решения.

Исследования в области систем активной сейсмозащиты зданий и сооружений проводили такие учёные, как Я.М. Айзенберг, Т.Ж. Жунусов, А.В. Дукарт, Л.Ш. Килимник, Б.Г. Коренев, А.М. Курзанов, О.В. Мкртычев, Д.Н. Низомов, С.В. Поляков, Ю.Л. Рутман, О.А. Савинов, В.И. Смирнов, А.М. Уздин, Ю.Д. Черепинский, И. Каландарбеков, R.I. Skinner, W.N. Robinson, J.M. Kelly, A.K. Chopra, I. Hirokazu и другие.

Совершенствование методов расчёта конструкций взаимодействующих с упругим основанием посвящены труды учёных Андреева В.И., Болотина В.В., Власова В.З., Герсеванова Н.М., Горбунов-Посадова М.И., Демина И.И., Динника А.М., Жемочкина Б.Н., Ишкова А.Г., Киселева В.А., Клейна Г.К., Коренева Б.Г., Кореновой Е.Б., Крылова А.Н., Кузнецова С.В., Леонтьева Н.Н., Пастернака П.Л., Саргсяна А.Е., Симвулиди И.А., Сеницына А.П., Соболева Д.Н., Травуша В.И., Тяпина А.Г., Цейтлина А.И., Цытовича Н.А. и др.

**Структура и объем диссертации:** работа включает введение, шесть глав, общие выводы, список литературы, содержащий 340 наименования, из которых 51 на иностранном языке, приложения. Объем диссертации составляет 238 страниц основного текста, включая 95 рисунков и 13 таблиц.

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

**В первой главе** приведён обзор работ по методы расчёта конструкций зданий с использованием дискретных моделей и методы сейсмозащиты зданий и сооружений.

**Вторая глава** посвящена разработке численных методов спектрального анализа сейсмических воздействий, включая реализацию прямого и обратного преобразования Фурье, построение амплитудных и энергетических спектров, а также формирование спектров реакций и поэтажных спектров отклика зданий.

Современные нормы проектирования требуют использования спектров реакции в качестве основной формы представления сейсмического

воздействия. Однако корректное формирование таких спектров требует глубокой математической базы и численной устойчивости алгоритмов. В этой связи выполненное исследование данной главы является актуальным и практически востребованным.

В условиях высокой сейсмичности региона и необходимости повышения достоверности расчётов сейсмостойкости зданий и сооружений применение спектральных методов анализа является фундаментальным инструментом современной инженерной сейсмологии.

Спектральный подход позволяет перейти от временного представления сейсмического сигнала к частотному, что существенно расширяет возможности анализа динамического поведения сооружений.

Значительный научный интерес представляет параграф 2.1.1, посвящённый исследованию спектральной характеристики прямоугольного импульса.

Важным достоинством данной главы (параграф 2.2) является разработка алгоритмов численного интегрирования преобразования Фурье. Автор анализирует погрешности численного интегрирования, рассматривает шаг дискретизации. Реализация алгоритма численного преобразования Фурье выполнена с учётом требований инженерной практики, что повышает прикладную ценность исследования.

Особого внимания заслуживает сравнительный анализ амплитудных спектров различных землетрясений (параграф 2.3). Автор демонстрирует, что различия спектральных характеристик обусловлены как глубиной очага, так и геологическими условиями площадки. Это позволяет использовать спектральные параметры для классификации сейсмических воздействий и уточнения расчётных моделей.

Параграф 2.4, посвящённый энергетическим спектрам, логично продолжает спектральный анализ. Автор корректно связывает энергию колебаний с квадратом амплитуды спектра, что соответствует классическим

положениям динамики. Приведённые расчёты подтверждают практическую применимость метода для оценки интенсивности воздействия.

Отдельно следует отметить выполненное численное моделирование обратного преобразования Фурье (параграф 2.5). Автор демонстрирует корректность восстановления временной функции по спектральным данным, что свидетельствует о высокой математической проработке алгоритмов.

Существенным вкладом данной главы является разработка методики построения спектров реакций (параграф 2.7) и поэтажных спектров реакций (параграф 2.8). Автор убедительно показывает, что переход к поэтажному спектральному анализу позволяет выявить зоны концентрации динамических усилий, что особенно важно при проектировании высотных зданий.

По разработанной компьютерной программы получены результаты дискретного преобразования, которые сопоставлены с аналитическим решением. Сравнение показывает, что результаты численного моделирования практически совпадают с данными аналитического решения.

**Глава третья** диссертационной работы посвящена численному моделированию динамического поведения системы «виброплатформа – модель здания» с применением сейсмоизолирующих устройств, включая скользящий пояс и фрикционно-маятниковые опоры. Рассматриваемое направление исследования является актуальным и соответствует современным требованиям теории динамики сооружений и сейсмостойкого строительства.

В параграфах 3.1-3.4 автором последовательно сформирована расчётная динамическая модель здания со скользящим поясом. Модель представлена в виде многомассовой системы с сосредоточенными параметрами, что позволило корректно учесть инерционные, упругие и диссипативные свойства конструкции, а также нелинейное влияние сил сухого трения на уровне фундаментной плиты. Динамическое уравнение равновесия получено в обобщённом виде и отражает основные физико-механические особенности рассматриваемой системы.

В параграфах 3.5-3.8 выполнено исследование свободных и вынужденных колебаний системы «виброплатформа - модель здания» как при отсутствии скольжения, так и с его учётом. С математической точки зрения представляет интерес сопоставление решений линейной и нелинейной задач динамики, а также анализ изменения спектральных характеристик системы при введении сейсмоизолирующего пояса. Численное интегрирование системы дифференциальных уравнений движения выполнено корректно, с обеспечением устойчивости и сходимости решений.

Параграфы 3.9-3.11 расширяют область исследования за счёт рассмотрения моделей с различным числом сосредоточенных масс, применения фрикционно-маятниковых опор и анализа динамического отклика системы на мгновенное импульсное воздействие. Такой подход позволяет выявить особенности переходных процессов и оценить влияние параметров трения, жёсткости и массы на динамическую реакцию сейсмоизолированного здания.

**Четвёртая глава** посвящена разработке и применению математических моделей и численных методов для решения динамических задач сейсмоизолированных зданий с использованием метода сосредоточенных деформаций. Тематика главы полностью соответствует предметной области строительной механики и ориентирована на анализ нелинейных колебательных процессов в системах с распределёнными и сосредоточенными параметрами.

В начальных параграфах главы выполнено исследование нелинейной работы сейсмоизоляции на основе гистерезисной модели Bouc - Wen. Применение данной модели позволяет адекватно описывать нелинейные силовые зависимости, характерные для резинометаллических и фрикционных сейсмоизоляторов.

Параграфы, посвящённые реализации нелинейной и линейной моделей с эффективной жёсткостью, позволяют провести сопоставительный анализ точных нелинейных решений и приближённых линейных аппроксимаций.

Такой подход имеет важное методическое значение, поскольку даёт возможность оценить область применимости линейных моделей и их точность при анализе динамического отклика сейсмоизолированных зданий.

В последующих параграфах выполнено исследование свободных и вынужденных колебаний при гармоническом воздействии. С математической точки зрения представляет интерес анализ устойчивости решений, влияние параметров гистерезисной модели на амплитудно-частотные характеристики системы, а также выявление особенностей установившихся и переходных режимов колебаний. Численное интегрирование нелинейных уравнений движения выполнено корректно, с учётом требований устойчивости и сходимости вычислительных алгоритмов.

Существенным достоинством главы является применение метода сосредоточенных деформаций для моделирования взаимодействия здания с основанием и формирования матрицы жёсткости системы. Данный метод позволяет перейти от континуальной модели к дискретной, сохранив при этом основные деформационные характеристики конструкции. Формирование матрицы жёсткости и уравнений движения выполнено в строгой математической форме и обеспечивает возможность анализа систем с большим числом степеней свободы.

Параграфы, посвящённые многокомпонентному сейсмическому воздействию и анализу влияния этажности на напряжённо-деформированное состояние зданий, расширяют рамки исследования и демонстрируют универсальность предложенного математического аппарата. Приведённые примеры численного моделирования подтверждают корректность разработанных моделей и позволяют количественно оценить эффективность применения сейсмоизоляции из резинометаллических опор.

**В пятой главе** рассматриваются экспериментальные исследования модели каркасных зданий. Экспериментальные исследования физической модели выявили увеличение перемещений в модели с сейсмоизоляцией.



**Шестая глава** посвящена актуальной и методологически значимой проблеме применения теории подобия и методов моделирования в строительной механике при исследовании статических и динамических задач, включая вибрационные и сейсмические воздействия на конструкции.

В современных условиях проектирования и расчёта зданий и сооружений, особенно в сейсмоактивных регионах, применение методов физического и математического моделирования является необходимым инструментом обеспечения надёжности и безопасности строительных систем. Особую значимость приобретает корректное использование теории подобия при переходе от модели к натурному объекту.

**Теоретическая и практическая значимость диссертации** определяется тем, что полученные результаты вносят вклад в развитие теории сейсмостойкости и прикладной механики. Предложенные модели и методы расширяют математический аппарат анализа динамических систем с сосредоточенными параметрами и могут быть использованы при решении широкого круга задач строительной механики.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в возможности использования разработанных моделей и алгоритмов при инженерном расчёте и проектировании сейсмоизолированных зданий, а также при разработке специализированных программных средств для динамического анализа сооружений.

**Публикации результатов исследования по теме диссертации.** Основные результаты диссертации представлены в 84 статьях, опубликованных в Республики Таджикистан, Российской Федерации, Республиках Беларусь, Узбекистан и Кыргызстан.

**Соответствие диссертации требованиям Высшей аттестационной комиссии.** Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, имеющее как теоретическое, так и прикладное значение. 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.

В диссертации имеются некоторые недостатки, среди которых можно выделить **следующие**:

1. В обзорной главе диссертации не в полной мере описано влияние многокомпонентного сейсмического воздействия на работу элементов сейсмоизоляции.

2. В главе 2 на странице 68, формула 2.21 требует дополнительной расшифровки входящих в неё параметров.

3. В четвёртой главе диссертации, параграфа 4.1 желательно было бы с целью наглядности дать рисунок, на примере которого раскрыли бы основную концепцию метода сосредоточенных деформаций.

4. Желательно было бы привести в главе 5, параграфе 5.7 диссертации более наглядное сравнение полученных результатов с результатами экспериментальных исследований - например, в виде графиков или сравнительной таблицы.

5. Целесообразно было бы более подробно обосновать выбор параметров сухого трения, используемых в численной модели.

6. При выводе динамических уравнений равновесия желательно было бы привести матричную форму записи системы уравнений движения, что повысило бы наглядность математического аппарата.

7. В работе недостаточно подробно рассмотрен вопрос сопоставления полученных результатов с экспериментальными данными, представленными в зарубежных исследованиях.

Отмеченные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки данной диссертации и не оказывают отрицательного влияния на её научный уровень.

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) является актуальным научным исследованием, выполненным на высоком теоретическом и методическом уровне, соответствует требованиям п. 31, 33, 34 и 35 Порядка присуждения учёных степеней, утверждённых постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30.06.2021 года, № 267, а её автор заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по указанной специальности.

**Официальный оппонент:**

Кузнецов Сергей Владимирович

доктор физико-математических наук, профессор

«23» апреля 2026 года

Научная специальность: 01.02.04- «Механика деформируемого твёрдого тела»

должность: заведующий кафедрой строительной и теоретической механики

организация: Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования

Национальный исследовательский Московский государственный

строительный университет

НИУ МГСУ адрес: Москва, Ярославское шоссе, 26

Домашний адрес: Москва, просп. Буденного, д.1/1, корп. 1, кв. 100

*Подпись Кузнецова С.В. заверю.*

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА  
КАДРОВОГО ДЕЛОПРОИЗ-  
ВОДСТВА УРП

*Подпись* А. В. ПИНЕГИН



## **ОТЗЫВ**

*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).*

**1. Актуальность темы исследования.** Представленная диссертационная работа посвящена одной из наиболее острых проблем современного строительства - обеспечению сейсмической безопасности зданий и сооружений путём применения и рационального расчёта систем сейсмической изоляции. Актуальность этой темы для Республики Таджикистан и всего центральноазиатского региона невозможно переоценить.

Территория Таджикистана, как и соседних стран, характеризуется высокой сейсмической активностью. Города Душанбе, Куляб, Худжанд, Бохтар, Хорог находятся в зонах с расчётной сейсмичностью 7-9 баллов. Уроки прошлых землетрясений, а также растущая плотность застройки и этажность новых объектов требуют перехода от пассивной стратегии «усиления» к активной стратегии «управления сейсмическим откликом». Сейсмоизоляция является ключевой технологией в обеспечении сейсмобезопасности.

В работе реализован системный подход, включающий математическое моделирование, численный анализ и оценку устойчивости динамических систем с нелинейными элементами сейсмоизоляции. Тематика диссертации актуальна как с научной, так и с практической точки зрения, поскольку предложенные методы могут быть использованы для расчёта и проектирования зданий в сейсмоопасных регионах.

**2. Научная новизна результатов диссертации,** сформулированная автором, является обоснованной и значимой. Особо хочу выделить:

- комплексный подход к моделированию сейсмоизолированных зданий с учётом нелинейных эффектов;
- разработка обратного преобразования Фурье, поэтажного спектрального анализа и исследование энергетических характеристик сейсмического воздействия;
- развития метода сосредоточенных деформаций применительно к задачам динамики сейсмоизолированных зданий;
- разработка алгоритмов моделирования динамических задач каркасного здания с учётом сейсмоизоляции и без неё на основе теории подобия;
- разработка алгоритмов численного решения соответствующих динамических задач;

### **3. Положения, выносимые на защиту:**

результаты численного решения задачи обратного преобразования Фурье; результаты численного моделирования здания с сейсмоизолирующим скользящим поясом со многими степенями свободы; результаты численного моделирования здания с сейсмоизоляцией в виде резино-металлических опор (РМО) при их линейной и нелинейной работе; результаты расчёта модели здания с учётом сейсмоизоляции на основе метода сосредоточенных деформаций; результаты экспериментальных исследований на модели сейсмоизолированного каркасного здания; результаты моделирования статических и динамических задач балок, плит, и фрагмента каркасного здания с учётом и без учёта сейсмоизоляции на основе теории подобия.

**4. Соответствие темы и содержание диссертации паспорту научной специальности.** Тема и содержание диссертация 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.

**5. Достоверность 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

**6. Степень изученности научной темы.** Основным требованием к методам расчёта является уменьшение трудоёмкости расчётов при сохранении достаточной точности полученного решения. В этом разделе приводятся имена учёных, внёвшие огромный вклад в исследование систем активной сейсмозащиты зданий и сооружений, такие как Я.М. Айзенберг, Т.Ж. Жунусов, А.В. Дукарт, Л.Ш. Килимник, Б.Г. Коренев, А.М. Курзанов, О.В. Мкртычев, Д.Н. Низомов, С.В. Поляков, Ю.Л. Рутман, О.А. Савинов, В.И. Смирнов, А.М. Уздин, Ю.Д. Черепинский, И.К. Каландарбеков, R.I. Skinner, W.N. Robinson, J.M. Kelly, A.K. Chopra, I. Hirokazu и другие. Однако, несмотря на значительный объём проведённых исследований, данная проблема остаётся ещё не до конца решённой.

Сейсмоизоляции с резинометаллическими опорами рассмотрены в работах А.М. Курзанова, О.В. Мкртычева, Г.А. Максимова, Д.Н.Низомова, И.К.Каландарбекова, В.И.Смирнова и другие.

**7. Структура и объем диссертации:** работа включает введение, шесть глав, общие выводы, список литературы, содержащий 340 наименования, из которых 51 на иностранном языке, приложения. Объем диссертации составляет 238 страниц основного текста, включая 95 рисунков и 13 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, излагаются цели и задачи диссертационного исследования, 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 методы расчёта

конструкций зданий с использованием дискретных моделей и методы сейсмозащиты зданий и сооружений. Изложен сопоставительный анализ численных методов решения динамических задач, а также рассмотрен учёт податливости стыковых соединений в элементах зданий. Глава состоит из 4 параграфов и заканчивается выводами.

**Вторая глава «СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ»** посвящена численному интегрированию, образованию Фурье, а также численному моделированию обратного преобразования Фурье и спектры реакций. Глава состоит из 8 параграфов и заканчивается выводами.

С помощью спектрального анализа определены преобладающие периоды акселерограмм, зафиксированных во время землетрясений. Численное интегрирование преобразования Фурье выполнено с использованием формулу Симпсона, которая обеспечивает повышенную точность не только для полиномов второй, но и третьей степени. На основе разработанной компьютерной программы **SPECTR-15** получены результаты дискретного преобразования, которые сопоставлены с аналитическим решением. Обратное преобразование, выполнено с использованием косинус преобразования. Максимальная погрешность по сравнению с аналитическим решением равна 3,4%.

Глава демонстрирует высокий уровень математической подготовки автора. Чётко и последовательно изложен вывод основных уравнений зависимости, что создаёт прочную теоретическую базу для последующих численных экспериментов. Приведение конкретных примеров анализа устойчивости переводит теорию в практическую плоскость и показывает, как теоретические положения используются для обеспечения корректности расчётов. Разработанные алгоритмы и компьютерные программы численного построения спектров Фурье и реакций позволяют проводить исследования по спектральному анализу сейсмических воздействий различной интенсивности.

**В третьей главе «ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ПЛАТФОРМА - МОДЕЛЬ ЗДАНИЯ» С СЕЙСМОИЗОЛИРУЮЩИМ**

**ПОЯСОМ»** исследуется динамической модели здания, а также свободные и вынужденные колебания платформа модель здания со скользящим поясом. Глава состоит из 11 параграфов и завершается выводами по главе.

Динамическая расчётная модель сооружения со скользящим поясом представлена в виде системы с сосредоточенными массами, где конкретная конфигурация зависит от расположения плоскости скольжения. Здесь рассматривается задача, в которой исследуется 5-этажное крупнопанельное здание на основе предложенной модели. Рассматривается многомассовая расчётная модель здания с элементами сухого трения, при различных плоскостях скольжения массы. Рассмотрено расчётную модель многоэтажного здания с однопаятниковыми скользящими опорами. Для получения уравнений движения системы использован метод перемещений.

**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. Глава состоит из 10 параграфов и заканчивается выводами.

Рассмотрено моделирование взаимодействия здания с основанием методом сосредоточенных деформаций. В теории сейсмостойкости первостепенное значение приобретает задача разработки расчётных моделей системы «здание, сооружение-грунт основания». Предполагая, что сейсмическое воздействие на основание представляется однокомпонентным поступательным движением, принято расчётная модель, в которой каждая масса может иметь по четыре степени свободы.

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 **EI Centro**.

Сравнение показывает, что максимальное ускорение фундаментной плиты примерно в полтора раза меньше, чем ускорения землетрясения, а максимальное ускорение плиты покрытия, наоборот, в полтора раза больше.

Рассмотрено многокомпонентное сейсмическое воздействие на основе метода сосредоточенных деформаций. Рассматриваемая расчётная модель сейсмоизолированного здания предполагает сосредоточение масс в уровнях перекрытий, где каждая инерционная масса обладает четырьмя степенями свободы: двумя угловыми и двумя линейными. 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. Приводится последовательное формирование матрицы жёсткости на основе метода сосредоточенных деформаций.

На основе изложенного алгоритма разработана компьютерная программа **SI-MCD-EI Centro** на языке Fortran и получены результаты расчёта сейсмоизолированного здания с резинометаллическими опорами. С целью сравнения также получены результаты расчёта модели с жёстким защемлением и упругими опорами.

Разработанная методика динамического анализа обеспечивает комплексную оценку напряженно-деформированного состояния сейсмоизолированных зданий при различных воздействиях.

В данной главе автор показывает владение комплексным подходом к решению сложных задач механики деформируемого твёрдого тела. Логическим завершением является параграф 4.10, где проводится оценка эффективности применения сейсмоизоляции из резинометаллических опор. Сейсмическая изоляция показала свою высокую эффективность и

экономическую конкурентоспособность по сравнению с традиционными методами обеспечения сейсмостойкости различных сооружений. Оптимальный вариант, как правило, выбирается путём сопоставления технико-экономических показателей рассматриваемых вариантов, сравнения показателей нового проекта с эталоном или с построенным зданием. Принимается то решение, которое при прочих равных условиях для своего осуществления требует меньших затрат. Полученные результаты открывают возможности для оптимизации несущих конструкций при динамических воздействиях.

Глава производит благоприятное впечатление, демонстрируя зрелость научного подхода и высокий уровень практической направленности. Автору удалось убедительно показать эффективность метода сосредоточенных деформаций при моделировании сейсмоизолированных зданий, что повышает значимость выполненного исследования.

**Пятая глава «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ПЛАТФОРМА - МОДЕЛЬ ЗДАНИЯ» С ЭЛЕМЕНТАМИ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ»** посвящена экспериментальным исследованиям системы «платформа-модель здания». Глава состоит из 7 параграфов и заканчивается выводами. Целью данных экспериментальных исследований было определение деформированного состояния модели каркасного здания с сейсмоизоляции. Получены результаты экспериментальных исследований модели здания, установленной на виброплатформе, от действия гармонической нагрузки при различных значениях её частоты и амплитуды.

**Шестая глава «МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕОРИИ ПОДОБИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ»** посвящена вопросам моделирования на основе теории подобия. Реализация теории подобия рассмотрены на множествах примерах различных систем. Глава состоит из 11 параграфов и заканчивается выводами. 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. Теория подобия позволяет переносить результаты экспериментальных исследований, полученные на моделях, на реальные объекты.

Заключение состоит из 10 пунктов, в которых обобщаются результаты проведённых исследований.

**8. Научная и практическая значимость диссертации** заключается в разработке методики и компьютерной программы для расчёта сейсмоизолированных зданий с использованием метода сосредоточенных деформаций. Разработанная методика, алгоритма и компьютерные программы могут быть успешно применены при проектировании сейсмоизолированных зданий с различными граничными условиями, а также может быть использована для исследования напряженно-деформированного состояния сейсмоизолированных зданий различных конструктивных схем. Результаты диссертации вносят существенный вклад не только в науку вообще, но и непосредственно в укрепление научно-технического потенциала Республики Таджикистан.

**9. Публикации результатов исследования по теме диссертации.** По теме диссертационной работы в 2025 г. издана монография «Численное моделирование динамических задач по расчёту зданий с учётом сейсмоизоляции» (в соавторстве с Низомовым Д.Н. и Каландарбековым И.К.). Основные результаты диссертации представлены в 84 статьях, опубликованных в Республике Таджикистан, Российской Федерации, Республики Беларусь, Узбекистан и Кыргызистан.

**10. Соответствие диссертации требованиям Высшей аттестационной комиссии.** Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, имеющее как теоретическое, так и прикладное значение. 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.

В диссертации имеются некоторые недостатки, среди которых можно выделить **следующие:**

1. Целесообразно было бы более подробно проанализировать влияние параметров сейсмоизоляции на напряжённо-деформированное состояние основных несущих элементов здания.

2. Желательно было бы результаты численного моделирования третьей главы сравнить с экспериментальными данными, что повысило бы практическую ценность выводов.

3. В работе рассматривается эффективность изоляции, но не ставятся задачи оптимизации параметров системы сейсмоизоляции (высоты, жёсткости) для заданного спектра воздействия. Это могло бы стать логичным развитием представленного исследования.

4. Вызывает интерес возможность применения предложенной модели для расчёта зданий с комбинированными системами сейсмозащиты (изоляция + демпфирование).

5. В тексте встречается неоднозначное использование терминов «диссипация», «демпфирование», «гистерезисное поглощение энергии» при описании работы сейсмоизоляторов. Для будущего использования метода в нормативной базе и учебниках необходима строгая унификация терминов.

6. В работе не затронут вопрос - учёт податливости узловых соединений (стыков колонн с ригелями, колонн с фундаментами), которая может быть сравнима по величине с податливостью пластических зон.

Указанные замечания в основном носят методического характера и ни в коей мере не снижают ценность и положительную научную оценку данной диссертации и не оказывают отрицательного влияния на её научный уровень.

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) является актуальным научным исследованием, выполненным на высоком теоретическом и методическом уровне, соответствует требованиям п. 31, 33, 34 и 35 Порядка присуждения учёных степеней, утверждённых постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30.06.2021 года, № 267, а её автор заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по указанной специальности.

**Официальный оппонент,**

Абдусаттаров Абдусамат,

доктор технических наук, профессор

«25» апреля 2026 года

Научная специальность: 01.02.04- «Механика деформируемого твёрдого тела»

должность: профессор кафедры прикладной механики

организация: Ташкентский государственный  
транспортный университет.

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](mailto:abdusattarov4646@gmail.com)



Абдусаттаров А.

Подпись Абдусаттарова Абдусамата подтверждаю.

Начальник отдела кадров ТГТУ

24.04.2026

Адрес университета: ТГТУ. 100167, г. Ташкент, Мирабадский район, ул  
Темирйулчилар 1

Тел.: +998 71-299-00-01

e-mail: [rektorat@tstu.uz](mailto:rektorat@tstu.uz), [tashiit@exat.uz](mailto:tashiit@exat.uz)

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

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).

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.1.5. «Строительная механика», соответствующие пункты:

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».

### **Связь исследования с программами и научными темами**

Данное исследование тесно связано с тематикой научно-исследовательской работы кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Таджикского технического университета им. акад. М.С.Осими и государственной бюджетной темой «Исследование напряжённо-деформированного состояния зданий и сооружений, взаимодействующих с грунтовым основанием при сейсмических воздействиях», проводимой лаборатории «Сейсмостойкость зданий и сооружений» Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана. В рамках этой темы проводятся научные работы в области сейсмостойкости и сейсмической защиты объектов. Исследование также является частью государственной программы по снижению сейсмического риска на территории Республики Таджикистан (согласно постановлению Правительства РТ №385 от 18 мая 2017 года) и 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**

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.

Исследования, направленные на совершенствование методов расчёта сейсмоизолированных зданий, имеют первостепенное значение для сейсмоопасных стран, включая Республику Таджикистан. Представленная работа вносит существенный вклад в развитие теории и практики проектирования таких сооружений.

Автором проведён обширный анализ существующих методов моделирования, обоснован выбор метода сосредоточенных деформаций. Разработанная математическая модель и алгоритмы её реализации позволяют с приемлемой для инженерной практики точностью оценивать нелинейное динамическое поведение систем сейсмоизоляции. Особую ценность имеют параграфы, посвящённые верификации модели и анализу влияния различных параметров на эффективность изоляции. Полученные автором графики зависимости реакций системы от частоты и амплитуды воздействия наглядно показывают эффективность сейсмоизоляции.

#### **Научная новизна и основные результаты**

**азвит метод сосредоточенных деформаций** для анализа динамики сейсмоизолированных зданий, что позволяет переходить от распределённых моделей к системам с конечным числом степеней свободы.

**остроена математическая модель динамики** в виде системы дифференциальных уравнений второго порядка с операторной постановкой в соответствующих функциональных пространствах, обеспечивающей корректность постановки задачи и применимость методов функционального анализа.

**проведён спектральный анализ линейризованных операторов динамической системы**, что позволило оценить влияние параметров сейсмоизоляции на собственные частоты и формы колебаний, а также на снижение сейсмического отклика сооружения.

**азработаны численные алгоритмы решения задач**, обеспечивающие сходимость и устойчивость расчётов при моделировании реальных сейсмических воздействий, пригодные для внедрения в инженерную практику.



**оказана практическая эффективность моделей и алгоритмов**, что позволяет использовать результаты работы при расчёте и проектировании сейсмоизолированных зданий, а также при разработке специализированных программных комплексов динамического анализа.

### **Степень проработанности научной темы**

Исследования в области систем активной сейсмозащиты зданий и сооружений проводили такие учёные, как Я.М. Айзенберг, Т.Ж. Жунусов, А.В. Дукарт, Л.Ш. Килимник, Б.Г. Коренев, А.М. Курзанов, О.В. Мкртычев, Д.Н. Низомов, С.В. Поляков, Ю.Л. Рутман, О.А. Савинов, В.И. Смирнов, А.М. Уздин, Ю.Д. Черепинский, И.К. Каландарбеков, R.I. Skinner, W.N. Robinson, J.M. Kelly, A.K. Chopra, I. Hirokazu и другие. Однако, несмотря на значительный объём проведённых исследований, данная проблема остаётся ещё не до конца решённой.

Сейсмоизоляции с резинометаллическими опорами рассмотрены в работах А.М. Курзанова, О.В. Мкртычева, Г.А. Максимова, Д.Н.Низомова, И.К.Каландарбекова, В.И.Смирнова и другие.

**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 методы расчёта конструкций зданий с использованием дискретных моделей и методы сейсмозащиты зданий и сооружений. Изложен сопоставительный анализ численных методов решения динамических задач, а также рассмотрен учёт податливости стыковых соединений в элементах зданий.

**Вторая глава** посвящена численному интегрированию, образованию Фурье, а также численному моделированию обратного преобразования Фурье и спектры реакций.

С помощью спектрального анализа определяются преобладающие периоды акселерограмм, зафиксированных во время землетрясений. На основе разработанной компьютерной программы получены результаты дискретного преобразования, которые сопоставлены с аналитическим решением. Получены графики изменения коэффициентов Фурье, на основе численного интегрирования, а также графики амплитудного спектра, полученные аналитическим решением и осуществлено сравнение результатов. Сравнение показывает, что результаты численного моделирования практически совпадают с данными аналитического решения.

**Третья глава** диссертационной работы посвящена разработке и применению математических моделей и численных методов для решения динамических задач сейсмоизолированных зданий. Тематика главы полностью соответствует предметной области строительной механики и ориентирована на анализ нелинейных колебательных процессов в системах с распределёнными и сосредоточенными параметрами.

На основе алгоритма разработана компьютерная программа на языке ФОРТРАН и получены результаты численного моделирования исследуемого объекта. Для модели зданий рассматривается двух типов плоскости скольжения: расположенное между основанием и фундаментной плитой; расположенное между массами фундаментной плиты и плиты первого этажа. Численное решение полученных дифференциальных уравнений осуществляется путём аппроксимации скорости и ускорение с использованием рекуррентных соотношений. Системы сейсмоизоляции с сухим трением являются эффективным методом повышения сейсмостойкости зданий и сооружений. Они особенно эффективно применяются для сейсмозащиты зданий с жёсткой конструктивной схемой.

На основе разработанных методик, алгоритмов и компьютерных программ численного моделирования получены результаты численного решения динамической задачи модели здания с сухим трением на примере системы со многими степенями свободы при различных граничных условиях и различных внешних воздействиях. Разработанный комплекс математических моделей и программного обеспечения позволяет проводить детальный анализ влияния сил сухого трения на динамические характеристики зданий.

Особый интерес вызывает подробный анализ различных типов сейсмоизоляций и сравнение их влияния на поведение сейсмоизолированных зданий.

**В четвёртой главе** рассматривается решение динамической задачи по расчёту сейсмоизолированных зданий с применением метода сосредоточенных деформаций. Исследуется динамическая модель здания с сейсмоизоляцией при различных динамических воздействиях. Данная глава представляет собой логическое продолжение предыдущих глав диссертации и посвящена численному моделированию динамических задач по расчёту сейсмоизолированных зданий. Особенностью данной главы является применение разработанной методики к сейсмоизолированным зданиям, имеющим реальное инженерное значение, что существенно повышает её прикладную ценность. На основе разработанного алгоритма методом сосредоточенных деформаций выявлено динамическое поведение сейсмоизолированных зданий с учётом податливости оснований и многокомпонентное сейсмическое воздействие. Использование активной сейсмоизоляции на основе резинометаллических опор позволяет снизить расчётные горизонтальные сейсмические нагрузки на над фундаментные конструкции здания и сократить объём антисейсмических мероприятий приблизительно втрое. Данная технология практически исключает необходимость дополнительного усиления несущих конструкций для восприятия сейсмических воздействий, что обеспечивает существенную

экономии строительных материалов (стали, бетона) и приводит к снижению общей сметной стоимости объекта.

**Пятая глава** посвящена экспериментальным исследованиям системы «платформа-модель здания». Получен график свободных колебаний платформы в продольном направлении, от ударного воздействия. Испытания проводились в соответствии с действующими нормативными документами на виброплатформе от динамического воздействия адекватные нагрузкам при землетрясении интенсивностью до 9 баллов. Величина горизонтальных ускорений на верхнем строении модели оказалась примерно в полтора раза меньше, чем аналогичные параметры движения виброплатформы. При сравнении теоретических исследований динамических характеристик с экспериментальными данными наблюдается их хорошее совпадение. Экспериментальные исследования трёхэтажной каркасной модели при вибрационном нагружении выявили увеличение перемещений в варианте с сейсмоизолирующими элементами по сравнению с конструкцией без системы сейсмозащиты.

**Шестая глава** посвящена вопросам моделирования на основе теории подобия. Реализация теории подобия рассмотрены на примерах различных систем. Полученные системы дифференциальных уравнений, учитывающая начальные и граничные условия, приводится к безразмерному виду, что позволяет сформировать математическую модель задачи как для натурального объекта, так и для модели. На основе результатов решения динамической задачи можно утверждать, что, получив период свободных колебаний из эксперимента на модели, можно определить основной период свободных колебаний балки в натуре без необходимости решения дифференциального уравнения. На основе теории подобия, получены результаты моделирования плит и фрагмента многоэтажного здания как с учётом, так и без учёта сейсмоизоляции. Определены коэффициенты подобия, которые позволяют перенести данные с модели на оригинал объекта.

**Теоретическая и практическая значимость работы**

Получены научно-обоснованные результаты, диаграммы и зависимости применяемые при проектировании зданий; полученные результаты могут использоваться для дальнейших исследований в области сейсмостойкого строительства; результаты экспериментальных исследований по предлагаемой модели представляющее 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 с целью 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.

**Личный вклад автора на соискание учёной степени** состоит 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.

#### **Апробация и реализация работы**

Основные результаты, представленные в диссертации, докладывались на ряд международных научно-теоретических и республиканских научно - практических конференций.

Результаты диссертационного исследования внедрены в практику проектирования ОАО «НИПИИ САНИИОСП», ГУП НИПИ «Душанбешахрсоз». Теоретические и прикладные аспекты работы нашли применение в учебном процессе Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими, где они использовались при преподавании

лекционного курса «Численные методы» для магистров по специальности 700201 - «Промышленное и гражданское строительство» и 700201-05 - «Проектирование зданий и сооружений». Акты о внедрении результатов представлены в приложении к диссертации.

### **Публикации результатов исследования**

Основные результаты диссертации представлены в 84 статьях, опубликованных в Республики Таджикистан, Российской Федерации, Республиках Беларусь, Узбекистан и Кыргызстан.

### **Структура и объем диссертации**

Работа состоит из введения, шесть глав, общие выводы, список литературы, содержащий 340 наименования, из которых 51 на иностранном языке, приложения. Объем диссертации составляет 238 страниц основного текста, включая 95 рисунков и 13 таблиц.

**Соответствие диссертации требованиям Высшей аттестационной комиссии.** Диссертационная работа выполнена на профессиональном научном уровне и представляет собой законченную научно-исследовательскую 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 успешное адаптирование метода сосредоточенных деформаций для решения динамических задач по расчёту сейсмоизолированных зданий при различных внешних воздействиях. Разработанный программно-алгоритмический комплекс обеспечивает комплексное исследование как свободных, так и вынужденных колебаний защищённых конструкций при различных видах

динамических нагрузок. Полученные результаты численного моделирования достоверно подтверждают высокую эффективность резинометаллических сейсмоизолирующих опор. Это обеспечивает универсальности методики.

Обеспечение сейсмической безопасности населения и устойчивости экономики является одной из ключевых государственных задач Республики Таджикистан. Сейсмическая изоляция признана во всём мире как одна из наиболее эффективных технологий пассивного сейсмозащиты, позволяющая радикально снизить уровень динамических нагрузок на несущие конструкции и обеспечить непрерывность функционирования критически важных объектов (больницы, центры управления, школы) даже при сильных землетрясениях.

Однако, широкое внедрение этой технологии в строительную практику Республики Таджикистан сдерживается отсутствием адаптированных, верифицированных и признанных научным сообществом методов расчёта. Использование зарубежных «коробочных» программных решений без глубокого понимания заложенных в них физико-математических моделей несёт в себе скрытые риски. Разработка собственного, научно обоснованного методологического аппарата для динамического расчёта сейсмоизолированных зданий - это вопрос технологического суверенитета и долгосрочной безопасности строительного комплекса страны.

В этом контексте диссертационное исследование **Каландарзода Ифтихор Имомёр** приобретает особую стратегическую значимость для Таджикистана. Работа направлена не на слепое копирование, а на творческое развитие современного метода - метода сосредоточенных деформаций с целью создания инструмента, пригодного для решения актуальных задач отечественного проектирования.

Вместе с тем, по диссертационной работе имеются следующие **замечания:**

1. Целесообразно было бы в первой главе диссертации привести таблицы, графики и экспериментальные данные, которые существенно повысили бы наглядность главы.

используемых литературных источниках мало уделено электронным ресурсам, что в современных условиях является необходимым атрибутом научных работ.

желательно было бы более детально рассмотреть вопросы выбора параметров сейсмоизолирующих устройств применительно к зданиям различной этажности и конструктивных схем.

в параграфе 4.8 с. 163 формирования матрицы жёсткости полезно было бы привести более детальное сравнение метода сосредоточенных деформаций с альтернативным методом конечных элементов.

в работе целесообразно было бы более подробно рассмотреть вопросы оптимизации вычислительных алгоритмов при увеличении размерности системы.

представляет интерес в дальнейшем исследование, развитие моделей с использованием современных методов обработки и анализа данных.

а на некоторых рисунках с амплитудными и энергетическими спектрами целесообразно было бы добавить пояснение по единицам измерения и нормировке спектров для более наглядного сравнения разных землетрясений.

Указанные замечания не носят принципиального характера и ни в коей мере не умаляют достоинство проведённого соискателем исследования. Выдвинутые автором положения и выводы аргументированы и достоверны. Автор показывает глубокие знания в области механики деформируемого твёрдого тела и сейсмостойкости сооружений. Основные результаты работы соответствуют критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора технических наук.

Таким образом рассматриваемая диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, написано грамотным техническим языком и соответствует требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, *Каландарзода Ифтихор Имомёр* заслуживает присуждения учёной степени доктора



технических наук по специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство и архитектура (2.1.5. Строительная механика).

Официальный оппонент,  
Мирзоев Сайъло Хабибулович,  
доктор технических наук, доцент  
Научная специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

должность: и.о. профессора кафедры «Информатика»  
организация: Таджикский национальный университет

Адрес: 734043, Республика Таджикистан,  
г. Душанбе, р. Фирдоуси, ул. Борбад 122, кв-53  
Тел: (+992)98-507-27-87.  
E-mail: [saidalo.mirzoev.1967@mail.ru](mailto:saidalo.mirzoev.1967@mail.ru).



Мирзоев С.Х.

Подпись С.Х. Мирзоева, заверяю:

Начальник УК и спецчасть ТНУ

Шодихонзода Э.Ш.

Адрес: 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17.